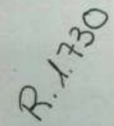
MANUAL
DE
INGENIERIA AMBIENTAL
IV

Dirección y diseño:
Elena Castro Martínez
Domingo Jiménez Beltràn







Escuela de Organización Industrial
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Depósito Legal: M-41277-1980
ISBN 84-600-2095-9 (T. 4)
ISBN 84-600-2091-6 (O.C.)
Edita: Escuela de Organización Industrial. Mº de Industria y Energía.
Gregorio del Amo, 6 - Madrid-3

INDICE GENERAL

TOMO I

PROLOGO

PRESENTACION

AREA 1 : BASES AMBIENTALES

1.- MEDIO AMBIENTE, RECURSOS Y TECNOLOGIAS
2.- BIOLOGIA GENERAL
3.- CONCEPTOS BASICOS DE ECOLOGIA
4.- MEDIO FISICO-RECEPTORES
5.- ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE
6.- ALIMENTACION-RECURSOS
7.- SANIDAD AMBIENTAL
8.- SOCIOLOGIA AMBIENTAL

TOMO II

AREA 2 : INGENIERIA AMBIENTAL

1.- PROCESOS CONTAMINANTES
2.- CONTAMINACION ATMOSFERICA

TOMO III

AREA 2 : INGENIERIA AMBIENTAL (CONTINUACION)

3.- CONTAMINACION DE AGUAS
4.- CONTAMINACION DE SUELOS

TOMO IV

AREA 2 : INGENIERIA AMBIENTAL (CONTINUACION)

5.- PROBLEMATICA DE RESIDUOS
6.- CONTAMINACION POR RUIDO Y VIBRACIONES
7.- RADIACTIVIDAD
8.- ESTETICA Y PAISAJE

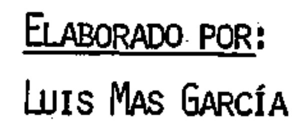
TOMO V

AREA 3 : GESTION AMBIENTAL. ASPECTOS INTEGRADORES

1.- PLANIFICACION INTEGRAL DE RECURSOS
2.- ECONOMIA DEL MEDIO AMBIENTE
3.- GESTION AMBIENTAL DE LA EMPRESA
4.- MARCO INSTITUCIONAL
5.- LEGISLACION AMBIENTAL
6.- ESTUDIOS Y EVALUACIONES DEL IMPACTO AMBIENTAL

TEMA 5

PROBLEMATICA DE RESIDUOS


ELABORADO POR:
LUIS MAS GARCÍA

INDICE — Pag.

1.- INTRODUCCION. DEFINICIONES. 1

2.- RESIDUOS RECURSOS Y MEDIO AMBIENTE. 4

3.- CLASIFICACION DE RESIDUOS. ORIGENES, PRODUCCION Y COMPOSICION DE LOS MISMOS. POSIBILIDADES DE RECUPERACION Y/O VERTIDO. 14

4.- ENFOQUE GENERAL DE UN PROBLEMA DE GESTION DE RESIDUOS. 21

5.- PARAMETROS DE CALIDAD DE RESIDUOS. TECNICAS ANALITICAS E INTRUMENTALES. 34

6.- RECOGIDA ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE RESIDUOS. 46

7.- ACONDICIONAMIENTO PARA EL VERTIDO. TRITURACION. COMPACTACION. 54

8.- VERTIDO DE RESIDUOS. 64

9.- SEPARACION, CONCENTRACION SELECTIVA Y RECUPERACION DE RECURSOS A PARTIR DE CONCENTRADOS. APROVECHAMIENTO INTEGRAL. 77

10.- TRANSFORMACION DE RESIDUOS. FABRICACION DE COMPOST. 93

11.- TRANSFORMACION DE RESIDUOS. INCINERACION. 109

12.- OTRAS TECNICAS DE TRANSFORMACION DE RESIDUOS. 123

13.- EJEMPLOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS - AGRICOLAS INDUSTRIALES Y MINEROS. 139

14.- REGLAMENTACION Y LEGISLACION SOBRE RESIDUOS. 159

15.- CONCLUSIONES GENERALES SOBRE GESTION DE RESIDUOS. 164

En este capítulo se pretende ofrecer una visión lo más amplia posible sobre la problemática de los residuos. Dado que las fuentes de producción de residuos son muy variadas, es preciso abordar el problema en función de parámetros tales como su composición, producción y distribución geográfica.

Será igualmente preciso estudiar los sistemas establecidos para determinar tales parámetros así como todas las operaciones a que deben ser sometidos los residuos desde su generación hasta su reutilización, transformación y eliminación final.

Por ello, los objetivos concretos de este tema pueden resumirse en los siguientes puntos:

a) Visión de conjunto para cuantificar y cualificar los residuos producidos en las distintas actividades humanas.

b) Estudio de los problemas que se presentan desde su recogida, almacenamiento y transporte, hasta su eliminación.

c) Exposición técnica y económica de las operaciones actuales de tratamiento.

d) Análisis crítico de los sistemas de tratamiento que se encuentran en la actualidad en estado de investigación, examinando sus posibilidades de aplicación futura.

e) Exposición de la actuación de la Administración frente a todos estos problemas.

f) Estudio de la legislación sobre residuos tanto a nivel nacional como a nivel internacional.

g) Estudio de la necesidad de llevar a cabo una política adecuada de gestión de residuos, que considere tanto los problemas ambientales que presenta la eliminación, como las posibilidades de reutilización y aprovechamiento de materiales en ellos contenidos.

h) Detalle de los textos fundamentales existentes sobre el problema de la gestión de residuos, con la finalidad de ofrecer las máximas posibilidades de orientación y formación a técnicos que estén relacionados con dicha gestión, tanto de la industria privada como de la Administración.

Para el estudio de todo ello se ha estructurado este tema de "Problemática de residuos" en diversos capítulos, tal y como se detalla en el índice incluido anteriormente. Con ello se ha pretendido facilitar la lectura de este texto siguiendo una secuencia lógica de aproximación al problema de los residuos.

Como puede observarse, hasta el momento sólo se ha empleado la palabra residuo, eliminando el adjetivo "sólido" con el que dicho término venía siendo calificado en la mayor parte de la bibliografía existente. Este tendencia actual de no emplear la denominación "residuo sólido" sino simplemente "residuo" viene justificado por el hecho de existir una gran ambigüedad en dicho adjetivo, ya que, en contaminación, es muy difícil señalar exactamente las fronteras entre los tres estados de la materia.

Por ejemplo, un lodo procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales deberá considerarse como residuo sólido a partir de una determinada concentración de sólidos en suspensión. En este caso, dónde termina el tratamiento del agua residual y dónde empieza el tratamiento del sólido producido?

De la misma forma, el polvo separado en un ciclón o en un filtro electrostático debe ser considerado como un residuo que se encuentra en estado sólido pero que, históricamente, no ha sido conceptuado como "residuo sólido" porque su incidencia sobre el medio ambiente es muy distinta a la que pueda tener, por ejemplo el residuo procedente de una operación extractiva (estéril de una explotación minera a cielo abierto, etc.).

Para considerar todo este tipo de sólidos que podían encontrarse en suspensión acuosa o aérea, se ha desechado la terminología "residuo sólido" que prejuzga sobre la consistencia y granulometría d e dicho residuo.

Se pasa a continuación a definir una serie de conceptos básicos, entre los que destaca el de "residuo" tal y como se entenderá a lo largo de todo este tema.

Con la palabra residuo se pretende aglutinar a todos los materiales de desecho que se generan desde los sectores primarios de obtención de materias primas, hasta la eliminación de los productos inutilizados por el uso o el consumo.

Mediante sencillos ejemplos puede aclararse cómo un residuo puede ser útil o inútil dependiendo de circunstancias personales, locacionales o temporales.

Tras el tratamiento por gravimetría de un mineral de plomo se obtienen un concentrado, unos mixtos y un estéril. Los mixtos constituyen un residúo de la gravimetría pero, gracias al avance tecnológico, son también materia prima para operaciones de flotación. El estéril de las operaciones reseñadas puede contener leyes de plomo que hoy son beneficiables e, incluso otros minerales, como los de fluor, que hoy pueden y están siendo recuperados. Ha variado en el tiempo el concepto de residuos en la recuperación de los minerales de plomo.

Es tal el avance que se está experimentando en la Mineralurgia que, en la Ley de Minas española de 1973 se creó para los residuos del tratamiento minero el concepto de "yacimientos artificiales" puesto que los depósitos de residuos constituyen o pueden constituir en un futuro yacimientos, no en el sentido científico pero sí en el económico, al haber posibilitado su beneficio mediante el empleo de nuevas tecnologías.

Otro ejemplo es el de los automóviles que han pasado en el tiempo de ser unos residuos, desechados por su dueño, a ser fuente de materia prima en forma de chatarra, después de haber pasado por un mercado de coches usados.

Como último ejemplo, con el fin de no hacer excesivamente larga la lista de los mismos, puede citarse el campo de la alimentación. Desgraciadamente es aún realidad la conocida fábula que s e iniciaba así: "Cuentan que un sabio que un día, tan pobre y mísero estaba, que sólo se alimentaba de las hierbas que cogía". Sabido es que dicha fábula termina cuando el sabio volvió la cabeza y "... vió que otro sabio iba cogiendo las hierbas que él desechó". Este es un caso que se da normalmente en todas las comunidades y que expresa claramente el diferente concepto de residuos para los diferentes estamentos de la sociedad.

El volúmen, la cantidad y el lugar en que se encuentran los residuos les da o les resta valor. Un tonelaje concreto de desechos de mina que tenga actualmente una ley beneficiable ofrecen posibilidades económicas de tratamiento distintas si están dispersos en una topografía adversa o concentrados en puntos de fácil acceso. De esta forma, los residuos domésticos no tienen valor para el aprovechamiento por quienes los producen y, por debajo de un número de habitantes determinado, esos residuos, a nivel de poblaciones, no

ofrecen un volumen que sea económicamente susceptible de aprovechar, por lo que es preciso limitarse a eliminarlos.

Por otra parte, como ya se indicó anteriormente, se ha eliminado el adjetivo "sólidos" en la nomenclatura de los residuos. De hecho, la gestión de los residuos va dirigida tanto a los que se encuentran físicamente en estado sólido como a aquellos otros que están en el mismo estado físico pero insertos en un medio líquido o gaseoso, siempre que sean, por depuración, convertidos en concentrados y resulten susceptibles de ser vertidos o eliminados de forma discontínua, no presentando, por tanto, el carácter de efluentes contínuos.

Como resumen, puede indicarse que aquello que se trata hoy como residuo puede no serlo mañana, teniendo en cuenta la rápida evolución de las condiciones técnicas, económicas e incluso psicosociales de la humanidad.

Han pasado ya los tiempos en que los residuos sólidos no constituían un problema de eliminación, bien por su escasa cantidad, bien por el insignificante valor comercial de su contenido. El aumento del nivel de vida, al hacer que el hombre consuma más productos de más variada composición y a los que se atribuyen períodos de duración ó de utilización cada vez menores, hace incrementar contínuamente los residuos generados en todas las fases del paso de las materias primas originales hacia la obtención de productos acabados. A su vez, los productos acabados, una vez cumplido su cometido o su periodo de utilización, pasan a ser igualmente residuos.

Es un hecho que la producción de residuos no cesa de incrementarse en todos los países, acentuándose con el nivel de industrialización. Es necesario, por tanto, asegurar su mejor eliminación considerando siempre las consecuencias, a largo plazo, de lo que pudiera ser un derroche de los recursos naturales producidos por la contaminación del aire, agua o suelo, o por un derroche de la materia prima utilizada

Mientras que los sólidos contenidos en los efluentes líquidos o gaseosos son muy tenidos en cuenta en todos los programas de lucha contra la contaminación, los residuos sólo se han considerado en parte y de forma generalista, por lo que es cada vez más necesaria una política ambiental que contemple estos desechos.

De cualquier forma, la atención prestada en el mundo al tema de la contaminación producida por residuos ha aumentado de forma realmente espectacular en los últimos años. Este interés no sólo se ha traducido en la ejecución de numerosos programas de investigación y desarrollo tecnológico promovidos por entidades públicas y privadas y en una clara preocupación por este tema por parte de algunos órganos de la Administración, sino que ha transcendido a la opinión pública que ha demostrado una singular sensibilización hacia estos problemas.

2.1. INTRODUCCION

Dada la cada vez mayor preocupación de la humanidad por la protección del medio ambiente, uno de los temas de más actualidad por su evidente incidencia sobre dicho medio es, sin duda, la problemática de la contaminación por residuos, su evacuación y/o tratamiento y, consiguientemente, la potencial recuperación de recursos a partir de dichos residuos.

Los residuos representan una de las expresiones de la faceta destructiva del medio ambiente. Esta afirmación resulta imposible de ignorar, aunque solamente fuera a causa de su omnipresencia física en nuestras ciudades, nuestros campos y nuestros recintos industriales.

Sin embargo, no todo ha de ser negro en el panorama de los residuos (gravosos problemas de eliminación, creciente peligro de contaminación y evidentemente despilfarro de recursos de minerales, metales y energía), sino que existe una vía llena de esperanzas a partir del aprovechamiento de dichos residuos. En efecto, se trata de conseguir que los residuos no constituyan únicamente un problema para el hombre, sino que las materias contenidas en ellos puedan ser recicladas o reutilizadas, mediante procesos de recuperación directa o de transformación en otras sustancias utilizables.

Pero el tema a abordar es extraordinariamente amplio, variado y complejo en facetas e implicaciones en todos los órdenes: tecnológico, económico y político.

Cuando se comparan las tendencias previstas de consumo de minerales (metálicos, no metálicos, carbones, etc.) con las posibilidades objetivas que se desprenden del examen detallado de nuestro subsuelo, se concluye que el déficit de nuestra balanza comercial de productos minerales, que ya se hizo diez veces mayor entre 1964 y 1970, aumentará en el futuro casi inexorablemente de manera exponencial (Figura 5.2.1.). Ello debe conducir a una acción en dos vertientes: intensificar las investigaciones mineras nacionales y promover acciones del mismo tipo en el exterior.

Sin embargo, existe un tipo de yacimiento mineral al que no se ha prestado suficiente atención hasta este momento (independientemente de su potencial transformación en "abonos" orgánicos o, más correctamente, correctores de suelos desde el punto de vista agrícola, o bien en energía): los residuos. En efecto, se dispone de motivos para pensar que las escombreras de residuos mineros, industriales o agrícolas, los cementerios de automóviles o los vertederos municipales constituyen, de hecho, yacimientos creados por la actividad humana.

Así, hace ya años que en Estados Unidos a las concentraciones de residuos se las denomina: minas sintéticas; minas creadas por el hombre (man made ores), e, incluso, minas subterráneas creadas por el hombre (underground man made ores), pues no es muy arriesgado concebir la explotación futura de las grandes concentraciones de residuos enterrados.

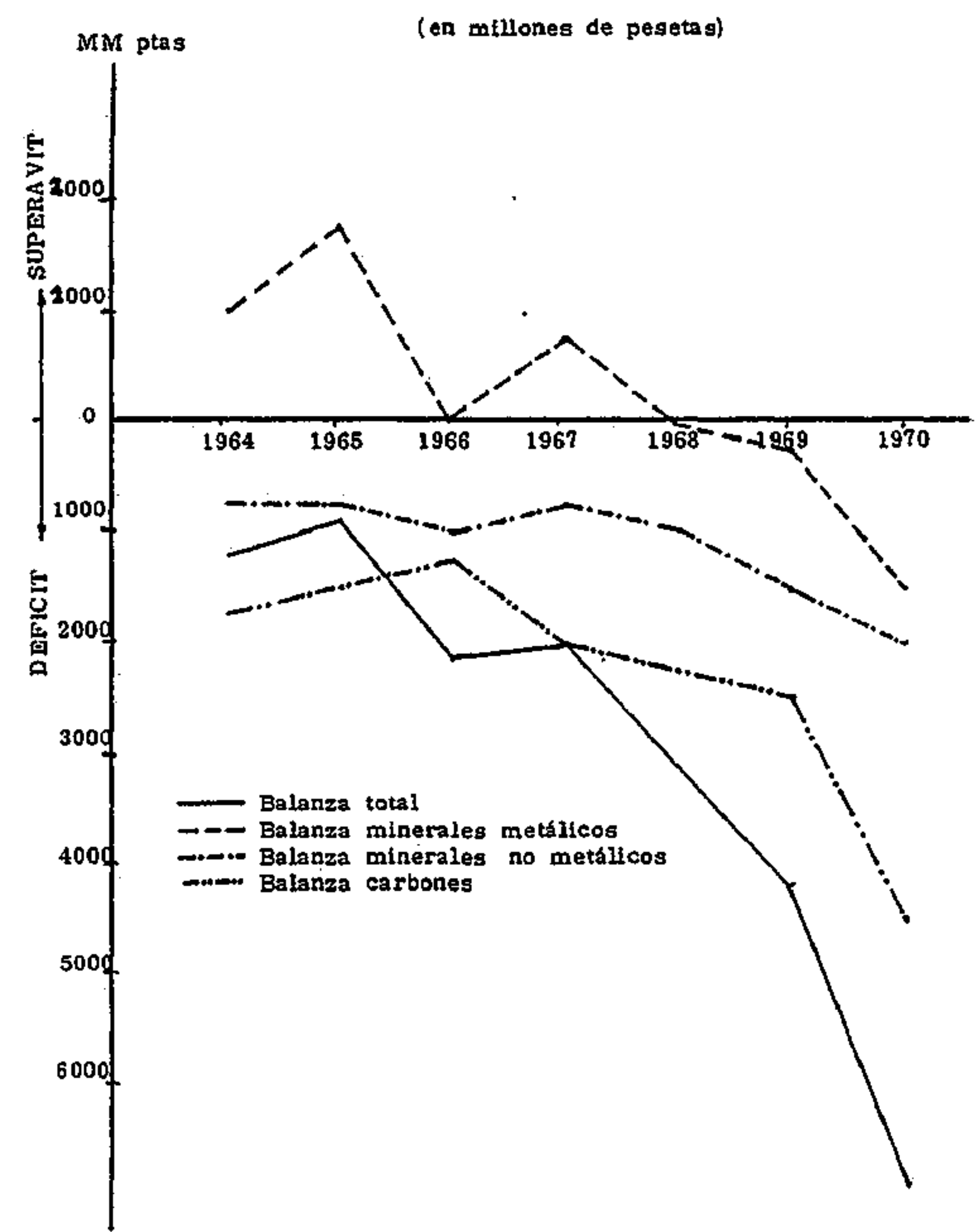
Si se comparan estos recursos con los naturales, se encuentran algunas ventajas claras a su favor:

- En lugar de agotarse, no solamente se renuevan, sino que incluso su producción aumenta de año en año y de una forma exponencial a menos que se arbitren medidas correctoras.

- Tienen un gran valor estratégico, por su inevitable carácter nacional.

Figura. 5.2.1


BALANZA COMERCIAL DE PRODUCTOS MINERALES


(en millones de pesetas)
MM ptas
SUPERAVIT
DEFICIT
2000
1000
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
Balanza total
Balanza minerales metálicos
Balanza minerales no metálicos
Balanza carbones

- Pueden presentar lo que se ha denominado valor negativo, en el sentido de que disponer de ellos suponga en ocasiones, suprimir un coste o disminuirlo. Tal puede ser el caso de los residuos urbanos, o menas urbanas (urban ore), por cuanto su aprovechamiento permité reducir los gastos elevados de transporte para su eliminación en áreas de vertido, cada día más alejadas necesariamente.

Desde el punto de vista de su composición, también pueden en algunos casos, competir favorablemente con las menas naturales.

No hace falta para ponerlo de manifiesto, recurrir al fácil ejemplo de las chatarras metálicas. La ley de los residuos urbanos incinerados, en algunos metales cuya recuperación es técnica y económicamente viable a escala de planta piloto, es la siguiente: 27,6 por ciento de metales férreos; 1,4 por ciento de aluminio; 1,1 por ciento de cobre y cinc; 43 por ciento de vidrio.

Se explotan minas que, de un solo metal aprovechable, contienen leyes análogas de aluminio o que presentan contenidos en cobre inferiores incluso al 0,8 por ciento. Un yacimiento de estaño tiene interés con una ley de 0,3 kilogramos por tonelada, mientras que una tonelada de latas de conserva contiene 5 kilogramos del mismo metal.

Por ello, todas las técnicas tendentes a la recuperación de los minerales contenidos en estas menas artificiales, o bien a la transformación de los residuos sólidos en compuestos húmicos ("compost") o energía, contribuyen grandemente a favorecer la recuperación económica de la que nuestro país está tan necesitado en el momento presente.

Por todo ello, puede afirmarse que, sin olvidar los problemas planteados por los residuos, éstos pueden considerarse como fuente de recursos, tal y como se indicará con mayor detalle más adelante.

Los principales problemas planteados por los residuos son los siguientes:

- Eliminación de los residuos.

- Efectos contaminantes sobre el medio ambiente.

- Despilfarro de recursos agrícolas, minerales y energéticos.

A continuación se van a desarrollar con algo más de detalle, los tres aspectos citados.

2.2. ELIMINACION DE LOS RESIDUOS

Históricamente, el primer problema planteado por los residuos ha sido el de su eliminación. Con la concentración de casi el noventa por ciento de los habitantes en ciudades, o en sus proximidades, los residuos urbanos recibieron atención preferente, aunque su porcentaje, respecto del total de residuos, sea únicamente un número dígito. Eran, sin embargo, aquellos cuya presencia resultaba más aparente y su proximidad más molesta.

La resolución principal que nuestra sociedad ha dado a este problema, ha sido bastante primitiva: quitárselo de la vista, arrojando los residuos en las afueras de las ciudades, u ocultar el problema enterrándolos.

Porque, debido a la concentración de la población y al aumento de residuos, cada día resultaba más difícil y costosa esta manera de proceder, se comenzaron a contemplar otras alternativas: la reducción previa de volumen, por incineración, y el aprovechamiento, mediante recuperación o transformación. La primera manifestación de esta transformación la constituyen las plantas de "compost".

En el caso de los residuos agrícolas y mineros, notablemente más importantes en volumen, pero con una posibilidad mucho menor de sensibilizar a la opinión pública, la cuestión se ha planteado en otros términos. En particular, en el caso de la minería, se han acumulado los residuos en el lugar más próximo al de origen que reuniera condiciones topográficas adecuadas. Por desgracia, no siempre se han tomado las medidas oportunas para garantizar que esas masas gigantescas no se deslizarían algún día, no fluirían para arrastrar todo lo que encontraran a su paso.

2.3. EFECTOS CONTAMINANTES SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

El segundo problema que ha afectado a los residuos ha sido el de la protección del medio ambiente. La diferencia fundamental entre los residuos y otros agentes contaminantes, líquidos o gaseosos, es su irritante permanencia en el lugar de origen.

Los agentes geológicos no los dispersarán sustancialmente, sino que hará falta una decisión humana y se producirá un coste, en consecuencia. Allí donde se concentren constituirán un foco de contaminación del agua, aire y suelos, una sobrecarga ecológica, de carácter continuo e irreversible.

Este aspecto del problema de los residuos, cobra una especial trascendencia cuando se contemplan conjuntamente dos grandes preocupaciones de los tiempos modernos: la utilización pacífica de la energía nuclear y la protección del medio ambiente. En ambos casos se trata de resolver esa especie de contradicción que se da en el Progreso, por la cual éste es, al mismo tiempo libertador y destructor. Los residuos constituyen una expresión física, muy aparente, de esa faceta destructiva.

2.4. DESPILFARRO DE RECURSOS AGRICOLAS, MINERALES Y ENERGETICOS

El tercer problema, en relación con el cual se han considerado los residuos, es el del agotamiento de recursos naturales, de carácter agrícola, mineral y energético. Es una cuestión muy discutida que en un futuro cercano le aguarda a la humanidad una grave penuria de materias primas, minerales y energéticas. El número de variables que influyen en ella, justifican el que se repartan, casi por igual, las profecías optimistas y las pesimistas.

Lo que es dudoso a escala de la humanidad, resulta por el contrario indiscutible a nivel de naciones.

Asimismo, dada la penuria en materias húmicas de numerosos suelos españoles, resulta también altamente preocupante el despilfarro de materias orgánicas de gran potencial húmico como la contenida en residuos urbanos, agrícolas y los procedentes de ciertas industrias (alimentación, etc.).

En primer lugar, ocurre que la distribución geográfica de las reservas de las referidas materias primas es esencialmente heterogénea, en cantidad y calidad, por existir en la corteza terrestre las denominadas provincias metalogenéticas, caracterizadas por la preponderancia de uno o más elementos en centenas e, incluso, millares de kilómetros.

Al hecho de que cada nación se encontrara, desde un principio, diferentemente dotada en cuanto se refiere a la naturaleza, diversidad y volumen de sus materias primas, minerales u energéticas, se suma la condición de que éstas no son renovables, sino que están sometidas a agotamiento.

Ambas circunstancias aparecen de forma especialmente manifiesta en los países con cierto grado de desarrollo. El estado de agotamiento más avanzado de los recursos que existieran, junto con un elevado nivel de consumo, altamente diversificado, da lugar a una penuria global de recursos minerales nacionales, que se evidencia, de manera muy expresiva, por el déficit progresivo de la balanza comercial de minerales.

Las industrias nacionales se encuentran, en consecuencia, en una situación de dependencia muy estrecha del exterior para asegurar su aprovisionamiento en materias primas minerales, lo que ha provocado una fuerte concurrencia en los mercados de minerales. La industria se ha hecho mucho más sensible y vulnerable a los problemas y tendencias de la geopolítica minera; en particular, ha de vigilar con especial atención la actitud actual y futura que adopten los países subdesarrollados como abastecedores de materias primas.

Fruto de ello ha resultado un movimiento de introversión hacia los recursos nacionales que, especialmente en determinados sectores; tales como los del hierro, carbón coquizable, combustibles y metales básicos, han adquirido un carácter estratégico desde el punto de vista industrial.

En consecuencia, los residuos urbanos, industriales, minerales y agrícolas, por su cuantía y composición, como se demostrará en el capítulo siguiente, y por su inevitable carácter nacional, deben ser considerados como recursos estratégicos de metales minerales y energía, con potencialidad diversa.

Porque otro hecho indiscutible es que, sin atender por el momento a posibles justificaciones de orden tecnológico y económico, la práctica actual de eliminación de residuos debe ser calificada como despilfarro.

Por citar un ejemplo, considérese que en los Estados Unidos solamente con la eliminación de residuos urbanos se tiran anualmente más de 12 millones de toneladas de metales férreos, más de 1 millón de toneladas de metales no férreos y más de 15 millones de toneladas de vidrio. De la misma manera, la producción de residuos minerales, supera la cantidad de 90 millones de toneladas al año, existiendo acumulaciones antiguas que totalizan unos 25.000 millones de toneladas de tal recurso potencial.

Por otra parte, se estima en los Estados Unidos que la cantidad de metales que se encuentran en materiales en utilización actualmente y que, más pronto o más tarde, serán residuos, es enorme: más de 40 millones de toneladas de cobre; más de 3,5 millones de toneladas de plomo; más de 4 millones de toneladas de cinc. Representa, sin duda, la reserva potencial más grande de metales de esa nación.

En España, donde todavía no se dispone de estadísticas e inventarios suficientes sobre estos temas, baste señalar que solamente los vehículos que circulan por nuestras calles y carreteras transportan una masa de 6 millones de toneladas de hierro, 100.000 toneladas de aluminio, 70.000 toneladas de cobre, 40.000 toneladas de plomo. El consumo anual de esos mismos metales fue en 1971 el siguiente: 8 millones de toneladas de hierro; 123.000 toneladas de aluminio; 152.000 toneladas de cobre y 79.000 toneladas de plomo.

Tomando como ejemplo los residuos sólidos urbanos que representan únicamente un 10% del total de residuos sólidos, España está tirando al año en sus basuras más de 2 millones de toneladas de papel; más de 300.000 toneladas de metales y más de 280.000 toneladas de vidrio.

De lo expuesto se desprende que difícilmente podrá justificar cualquier país una política basada simplemente en la eliminación de los residuos sólidos. Se trata de algo que, por su valor potencial y por su peligro, hay verdaderamente que gestionar y administrar.

No cabe duda de que por medio del aprovechamiento de los residuos sólidos, se vislumbra una solución que puede contribuir a aliviar los problemas planteados, actuando de las tres formas siguientes:

- Disminuyendo las dificultades y costes de eliminación.

- Evitando una mayor contaminación del ambiente.

- Ayudando a la conservación de los recursos naturales.

Se indica a continuación, con mayor detalle, la importancia potencial que pueden tener los residuos al ser considerados como recursos.

La explotabilidad económica de una masa de mineral que se encuentra en la Naturaleza, es un concepto relativo en el tiempo, pues depende, no solamente de factores intrínsecos al yacimiento, tales como el volúmen, ley media y localización, sino también de dos circunstancias externas a él: la situación de los mercados y el grado de desarrollo de la tecnología.

Han sido nuevas tecnologías las que en el caso del flúor y del titanio, por citar dos ejemplos, han dado interés económico a las concentraciones naturales de minerales de fluorita y rutilo. En otras ocasiones, las condiciones de mercado, junto con los avances tecnológicos en los métodos de explotación han hecho posible el aprovechamiento de masas de mineral de tal pobreza, que su beneficio económico hubiera parecido inconcebible hace pocos años.

Se ha visto, en consecuencia, la conveniencia de distinguir entre los términos de reservas y recursos. El primero se utiliza para referirse a las masas de mineral explotables en la actualidad, mientras que el segundo se aplica a aquellas beneficiables en el futuro, si varían adecuadamente las circunstancias tecnológicas y de mercado. En otras palabras: los recursos son reservas potenciales; los recursos de hoy pueden ser las reservas de mañana.

En la Tabla 5.2.1. se presentan datos sobre el papel que pueden jugar los residuos urbanos en la economía de recursos. La tercera columna numérica expresa el porcentaje que supone la recuperación a partir de desechos en la producción de diversos productos. La quinta columna, a su vez, pone de manifiesto el porcentaje adicional, referido igualmente a la producción que se encuentra disponible en los residuos urbanos.

Como puede observarse en la última columna, se calcula en los Estados Unidos que el aprovechamiento de basuras supondría cerca del 10 por ciento de la producción de hierro y acero, del 30 por ciento de la de aluminio (sustancia de la que en España no existen materias primas actualmente), el 37 por ciento de la de estaño, más del 60 por ciento de la de vidrio, el 61 por ciento de la del papel y más del 60 por ciento de la del caucho.

Naturalmente, las posibilidades presentes y futuras de aportar esos porcentajes o, al menos, una parte sustancial de ellos, a la producción, son muy variables para los diversos productos, como se pondrá de manifiesto más adelante. Sin embargo, el orden de cifras es suficientemente expresivo de la importante repercusión que cabe esperar de cualquier mejora.

En el caso particular de los metales, hay que destacar que los datos reflejados en la tercera columna corresponden únicamente a la recuperación actual a partir de chatarra, y las cifras que se han dado, no incluyen los restos que se aprovechan en las propias instalaciones metalúrgicas; así, en el caso del hierro y del acero en particular, la proporción indicada del 27 por ciento se eleva hasta el 50 por ciento, como se ha señalado con anterioridad.

La cantidad de residuos metálicos que se producen anualmente en Estados Unidos se estima en 150 millones de toneladas. Unos 110 millones de toneladas son objeto de operaciones de aprovechamiento, mientras que de los otros 40 millones de toneladas, 20 van a parar a escombreras y vertederos, y el resto se encuentran dispersos.

De los 110 millones de toneladas objeto de aprovechamiento, solamente 3,5 millones de toneladas correspondieron a chatarra de metales no férreos. Sin embargo, el valor de esta partida ascendió a 2.500 millones de dólares en un total de 5.500 millones de dólares.

Estas cifras dan también idea de las dimensiones económicas de esta industria de aprovechamiento, que se situaría por su importancia en el puesto decimo-quinto en los Estados Unidos.

En el caso de los productos orgánicos, es importante aclarar que, por lo que se refiere al papel, el 20 por ciento de recuperación que se ha indicado no incluye diversos residuos vegetales, cuya consideración eleva la cifra hasta el 45 por ciento, en los Estados Unidos. Las proporciones son similares en otros países: 42 por ciento en la República Federal Alemana y 37 por ciento en Dinamarca.

Finalmente, puede mencionarse que las posibilidades, todavía remotas, que se vislumbran por medio de la pirólisis de residuos agrícolas, son realmente espectaculares. Según las estimaciones del Dr. Alex Mills, Jefe de la División de Carbón del Bureau of Mines de los Estados Unidos, se podría abastecer así la mitad del consumo de petróleo de este país.

Naturalmente que no parece factible, por la dispersión de los residuos, entre otras causas, alcanzar tal objetivo, pero de nuevo hay que señalar el notable efecto que podría causar una acción en este campo.

En la última columna de la Tabla 5.2.2. se expresa, en dólares por tonelada, el valor potencial que presenta una tonelada de desechos en los diferentes productos considerados en la Tabla 5.2.1.

Las perspectivas apuntadas adquieren un especial relieve cuando se contemplan conjuntamente, no solamente con la situación de cada país en reservas minerales de cara al futuro, sino con el panorama de abastecimiento de recursos para la humanidad. Si las primeras son inciertas, tampoco dejan de serlo las segundas.

Precisamente, para algunos de los metales cuya recuperación se ha citado, de acuerdo con las reservas conocidas actualmente y con las tendencias previstas de consumo, las perspectivas de aprovisionamiento, según el Dr. McHale, Director del World Resources Institute de la Universidad del Sur de Illinois, son las siguientes: 27 años para el estaño; 21 años para el cobre; 15 años para el cinc y 11 años para el plomo.

Las cifras varían con los autores, pero los datos basados en lo que actualmente se conoce, nunca son optimistas. Según otros estudios apoyados en datos del Bureau of Mines de Estados Unidos para el año 2.000

PRODUCTOS	PRODUCCION ANUAL U.S.A.			ESTIMACION DE LA CANTIDAD ADICIONAL DISPONIBLE EN RESIDUOS SOLIDOS URBANOS	%
	TOTAL	PROCEDENTE DE DESECHOS	%		
INORGANICOS					
Hierro y acero	130	36	27,69	10 - 14"	7,69-10,76
Aluminio	3,8	1,0	26,31	1,0 - 1,2	25,31-31,57
Cobre	3,2	1,4	43,75	0,5 -	9,8
Cinc	1,9	0,4	21,05		
Estaño	0,08	0,023	28,75	0,03	37,50-
Vidrio	16	2 - 5	12,5 -31,25	10 - 12x	52,50-75
Agregados de construcción	1,000	Inapreciable		12 - 15x	1,20- 1,5
ORGANICOS					
Papel	59	12	20,33	36	61,01
Compost	Inapreciable			50 -100	
Proteínas	10xx			5 - 10	50 -100
Plásticos	10	Inapreciable		4 - 7	40 - 70
Combustibles	$60x10^{15}$BTS-/	Inapreciable		$2x10^{15}$ BTUS	4
Carbón	2			10 - 50	
Coke	80				12,19-60,97
Caucho	3 -/-/-/	0,2-1	6,66-33,3	2 - 2,8	66,66-93,33

" 2/3 Procedentes de latas

xx Principalmente para alimentación animal

-/ Fuentes estacionarias de energía

-/-/ Por pirólisis

-/-/-/ 2,5 son neumáticos

x Se supone que el agregado contiene vidrio y otros materiales minerales

BTUS = 0,252 Kcal

Millones de toneladas

Tabla 5.2.1.

PRODUCTO	Valor del producto en bruto S/t	Valor estimado de los materiales recuperados de los desechos S/t	Proporción recuperable de los desechos ts/t	Valor potencial obtenido S/t de desechos
INORGANICOS				
Chatarra	20- 40	10-20	0,09	0,80- 1,60
Latas	20-.40	15-20	0,05	0,75- 1,00
Aluminio	540	200	0,01	2,00
Otros metales		380	0,003	1,00
Vidrio, Cerámica	25	10-20 vidrio	0,10	1,00- 2,00
		5 arena		0,50
ORGANICOS				
Papel	90-125[x]	15-20[xx]	0,25[xx]	5,00[xx]
			(0,50)-/	(10,00-25,00)-/
Compost		5-10	0,50	2,50- 5,00
Proteínas		160-300	0,50	1,60- 3,00
Plásticos	300	Sin valor como plástico	(0,02)	(6,00)-/-/
		30 S/1.000.000 BTUS	300.000BTUS	0,10
		30 S/1.000.000 BTUS	10.000.000BTUS	3,00
Carbón		140 -/-/-/	(0,1-0,25)	(14,00-35,00)
Coke		20	(0,1-0,25)	(2,00- 5,00)

Los paréntesis indican una situación hipotética aún no cinfirmada.
Principalmente Cu y Zn
x Mercado de pasta de papel sin blanqueo.
xx Basado en los productos recuperados en la planta de Franklin, Ohio.

-/ Valor potencial (100% recuperable 20-50 S/t).
-/-/ Valores potenciales, sin recuperar hasta ahora.
-/-/-/ Valores de Carbón
BTUS = 0,252 Kcal

Tabla 5.2.2.

se habrían agotado las reservas de wolframio, cobre, plomo, cinc, estaño, oro, plata y platino.

Este estudio no tiene en cuenta la posibilidad de descubrir nuevos yacimientos ni de pasar a reservas lo que ahora son recursos, pero tampoco ha considerado el aumento de población y los incrementos de consumo por habitante.

En lo que se refiere al petróleo, hay razones para creer que el máximo de producción se alcanzará cerca del año 2.000 para ir decreciendo paulatinamente, hasta desaparecer, de forma que esta sustancia habrá sido un acontecimiento transitorio y efímero en la historia de la humanidad, a pesar de la influencia que habrá tenido en la alteración de la ecología.

Por otra parte, las perspectivas optimistas sobre el abastecimiento de recursos minerales y energéticos se basan en una serie de premisas que no se pueden desconocer, aunque presenten muchos puntos discutibles.

- La promesa de una energía económica y, esencialmente, inagotable, a partir de fuentes nucleares y solares.

- La suposición de que es el precio el único factor que gobierna la disponibilidad de minerales y metales, lo que es en buena parte erróneo, pues supondría admitir que la cantidad de recursos disponibles de una sustancia es inversamente proporcional a su ley o riqueza.

- La creencia de que se llegará a un efectivo control de la población.

- La fe ciega en la tecnología como clave para la solución de todos los problemas.

- La esperanza de que si todo lo demás fallara, los recursos del mar harían frente a todas las necesidades humanas.

Por grande que sea el valor de esas promesas, sería irrazonable despreciar el aprovechamiento de los residuos.

3.1. INTRODUCCION

Las clasificaciones de residuos, incluso en los países que disponen de estadísticas fiables, son necesariamente confusas, pues suelen inevitablemente mezclar dos criterios de clasificación: el relativo a la naturaleza de su origen, que permite separar las clases principales de doméstico, municipal, comercial, centros asistenciales, minero, agrícola, ganadero y forestal; y el que se refiere al lugar en que se producen, que da lugar a la denominación de residuos urbanos, donde necesariamente se incluyen parte de los industriales (ver Figura 5. 3. 1.).

Para ilustrar las proporciones relativas de los diferentes tipos, se citan los datos sobre los residuos producidos en 1971 en los Estados Unidos:

- Residuos urbanos	415 millones de toneladas	9%
- Residuos mineros y metalúrgicos	1.700 millones de toneladas	37%
- Residuos agrícolas y ganaderos	2.500 millones de toneladas	54%

A su vez, los residuos urbanos pueden dividirse en:

- Domésticos, comerciales y de instituciones, recogidos municipalmente	205 millones de toneladas	4,5%
- Domésticos, comerciales y de instituciones no recogidos municipalmente	75 millones de toneladas	1,6%
- Industriales	135 millones de toneladas	2,9%

Los residuos mineros no incluyen los estériles de recubrimiento de explotaciones a cielo abierto.

Los residuos agrícolas supusieron más del 15% y los ganaderos más del 30%.

Cifras muy recientes, elevan la proporción de residuos urbanos a un 9,4 por ciento correspondiente a 440 millones de toneladas. De ellos, los domésticos suponen un 5,2 por ciento.

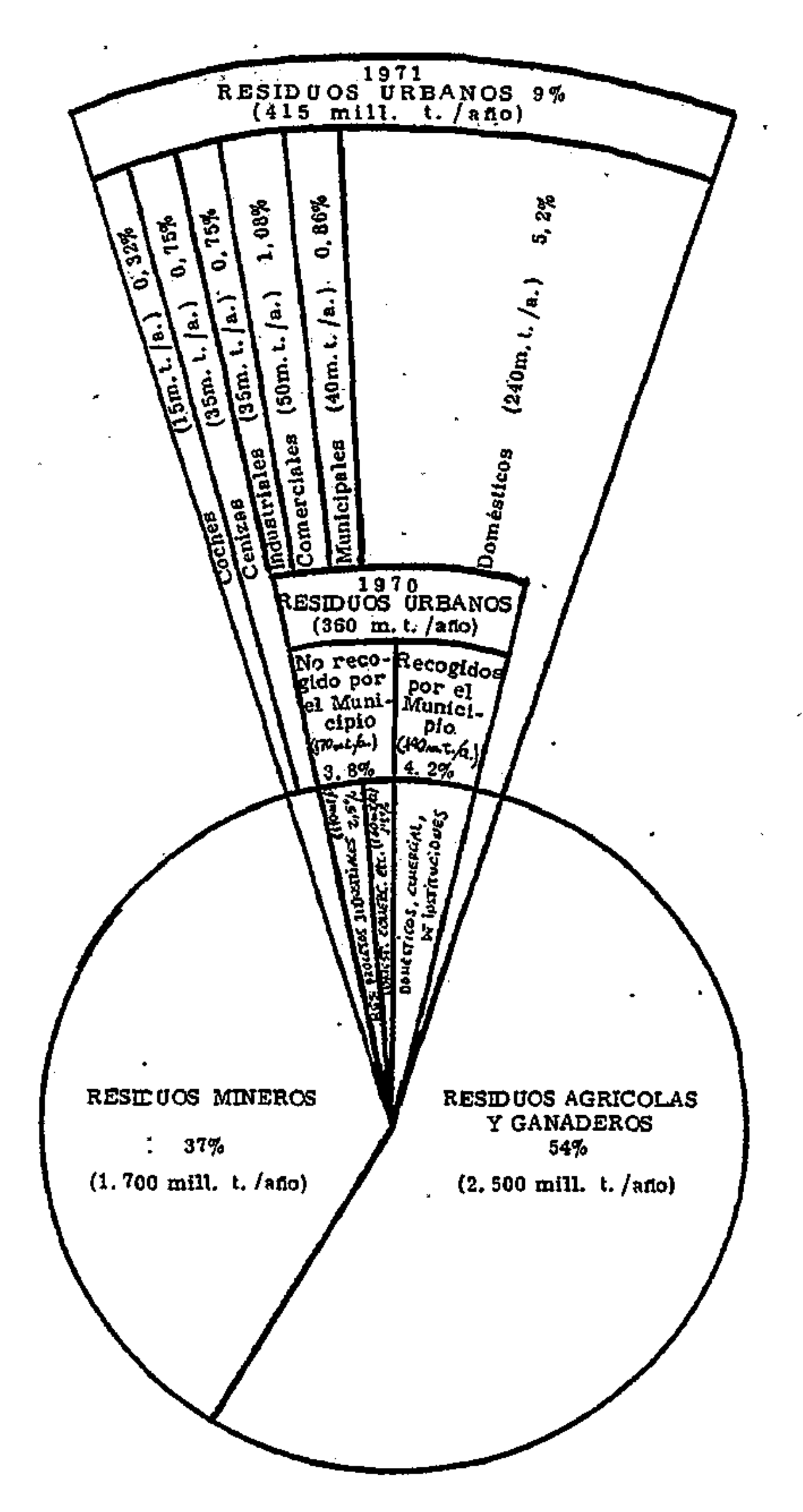
Como se ha indicado anteriormente, estas producciones suponen más de 3 Kg. por habitante y día de residuos domésticos, superándose los 50 Kg. cuando se incluye la totalidad de residuos.

En Europa las cifras son más modestas. En Francia, si se toma como base una producción por habitante y día, de 1 Kg. de residuos domésticos, de 3 Kg. de residuos mineros, de 1,5 Kg. de residuos industriales y de 4 a 6 Kg. de residuos agrícolas, la cifra total supera con facilidad los 10 Kg.

Un grupo especial de residuos que habría que considerar son los que presentan un caracter particularmente peligroso y exigen, en consecuencia, normas y técnicas específicas para su tratamiento. Tales residuos son los de caracter inflamable, explosivo, tóxico, patógeno, corrosivo y radiactivo.

3.2. RESIDUOS URBANOS

La producción de residuos urbanos varía en función del nivel de vida de cada país. A título orientativo, se



CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN PORCENTAJES (EE. UU.)

Figura. 5. 3. 1

ha establecido la curva que se incluye como Figura 5.3.2.

El aumento de la producción de residuos urbanos con el nivel de vida es sensiblemente de tipo exponencial. Ello es debido a que nunca civilización alguna identificó tanto la calidad y el nivel de vida, con la posesión de bienes materiales como la nuestra. Por otra parte, jamás les confirió valor tan fugaz, que al poco tiempo de poseerlos, no sientiera la ineludible necesidad de cambiarlos por otros nuevos.

Se puede indicar que la cifra en España, referida a Madrid (la nacional se ajustaría mejor a la curva), se duplicaría en la década de los años 80 si para entonces se superan los 2.000 dólares per cápita. Naturalmente, se habrá duplicado antes debido al aumento de población. En este momento, la producción nacional de basuras alcanza los 7 millones de toneladas al año.

Extrapolando para producciones de todo tipo de residuos a partir de los urbanos, se obtendría una curva análoga (una buena referencia la constituyen los 10 Kg. por habitante y día de Francia, contra los 50 de Estados Unidos).

Por lo que se refiere a la producción de residuos urbanos en algunos países europeos, se puede citar:

Francia: En 1971 las cifras por habitante y día han sido:

- 0,3 a 0,5 Kg. en zonas rurales.
- 0,6 a 1 Kg. en zonas urbanas.
- 1,1 a 1,4 Kg. en zonas de elevada actividad comercial.
- 0,72 Kg. de media nacional.
- 4% de incremento anual previsto.

Suecia: En 1970 los datos por habitante y día han sido:

- 0,69 Kg. de media nacional.
- 3 a 4% de incremento anual.

Se espera doblar la cifra entre los años 1990 y 2000.

Inglaterra: Los datos relativos a Londres, señalan 1 Kg. por habitante y día. En Inglaterra y Gales se produjeron en total 18 millones de toneladas en 1970.

Respecto a la composición de los residuos urbanos, las tendencias de evaluación son claras:

- Incremento de las materias combustibles: papel, cartón, plásticos, ...

- Incremento de alguna de las materias inertes: metales y vidrio especialmente.

- Disminución de las materias fermentables y de las cenizas y partículas finas en general.

Estas tendencias, junto con el continuado aumento de volumen específico de los residuos, habrán de ser tenidas muy en cuenta al enfrentarse con la decisión sobre los sistemas de tratamiento que deben seleccionarse en un futuro (Figura 5.3.3).

PRODUCCION DE RESIDUOS URBANOS Y NIVEL DE VIDA

Figura 5.3.2.

HIPOTESIS SOBRE LA EVOLUCION DE LA COMPOSICION DE LOS RESIDUOS URBANOS

Figura 5.3.3.

Este fenómeno ha sido puesto muy claramente de manifiesto en Londres. En efecto, en la Figura 2.5.5. puede observarse la evolución del polvo y cenizas, del papel, de los metales y del vidrio.

Se puede considerar también como un fenómeno general en todo el mundo la reducción de la densidad con el consiguiente aumento de volùmen específico.

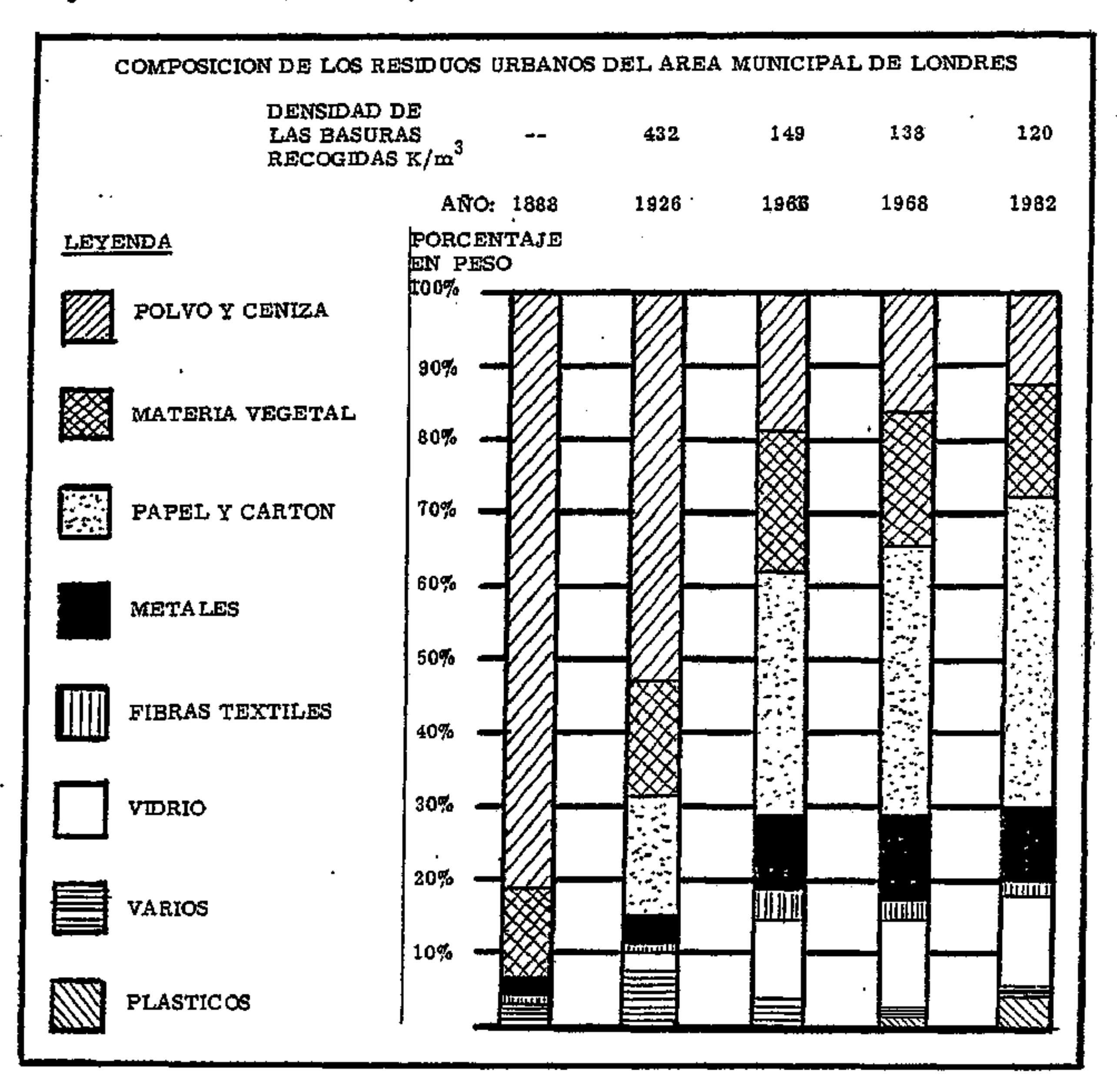


Figura 5.3.4.

En la Tabla 5.3.1., se indican las composiciones medias de las basuras urbanas en distintos países.

Obsérvese cómo, de acuerdo con el menor grado de desarrollo de nuestro país en comparación con los otros que figuran en la tabla, las basuras españolas son más ricas en materias fermentables y más pobres en materias combustibles, metales y vidrio.

De cualquier forma, tal y como se indicará en apartados posteriores, la composición de las basuras urbanas justifica plenamente la afirmación de que los residuos de origen doméstico constituyen una mena importantísima de recursos naturales.

COMPOSICION PORCENTUAL DE LOS RESIDUOS URBANOS					
	España	Inglaterra	Francia	EE. UU.	Canadá
	Barcelona	Londres	París	California	Montreal
Metales	3,6	10,7	4,2	7,0	9,5
Vidrio	3,6	10,6	5,1	8,0	9,9
Tierra y cenizas	6,3	19,7	33,3	5,0	22,5
Materias inertes	13,5	41,0	42,6	20,0	31,9
Materias Fermentables	49,4	19,5	15,0	15,5	0,4
Papel y Cartón	24,5	32,9	33,0	51,5	50,7
Trapos	3,0	2,7	4,0	4,0	3,9
Plásticos	6,3	1,3	1,7	1,9	0,3
Varios	3,3	2,6	3,7	3,1	13,2
Materias Combustibles	37,1	39,5	42,4	60,5	68,1

Tabla 5.3.1.

3.3. RESIDUOS INDUSTRIALES

Los residuos industriales difieren fundamentalmente de los urbanos en que, tanto desde el punto de vista físico como químico, son mucho más variados.

Por otra parte, son los residuos objeto de mayor recuperación actualmente en las porpias fábricas y en las industrias de tratamiento de materiales secundarios. Sin embargo, las generalizaciones son muy difíciles, pues cada caso es prácticamente un problema específico.

La variedad de sectores industriales y, en consecuencia, de residuos, hace que la descripción de éstos se salga de las posibilidades de este trabajo. En el libro Solid Waste Management, se puede consultar una lista de veintidós tipos de industrias, que incluye los procesos que son la causa principal de la producción de residuos y la naturaleza de éstos.

Se señalan algunos tipos de residuos de especial interés potencial con vistas a su aprovechamiento: los de aleaciones especiales con gran concentración de materiales raros; los de la industria electrónica; los de algunas industrias químicas, como la galvanoplastia, fabricación de aluminio o los humos y cenizas metalúrgicas; los de plásticos, papel y cartón.

3.4. RESIDUOS MINEROS

Los más importantes son las escombreras de minas, e instalaciones mineralúrgicas y metalúrgicas. Su vo

lumen se incremente de día en día por el aumento de producción y el tratamiento de menas más pobres.

El hecho de encontrarse frecuentemente en zonas alejadas, dificulta cualquier acción de gestión de los residuos basada en su transporte.

En función de la finura de los materiales y de su composición pueden presentar serios problemas de contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Todavía mayores pueden ser los peligros de deslizamientos derivados de emplazamientos defectuosos.

En cuanto se producen, deben considerarse recursos. Numerosas escombreras antiguas, de plomo y fluorita especialmente, han sido objeto de aprovechamiento en nuestro país en los últimos tiempos.

3.5. RESIDUOS AGRICOLAS Y GANADEROS

Estos residuos, los más abundantes, resultan también los más dispersos y difíciles de controlar.

Constituyen uno de los agentes principales de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, así como de los suelos.

Con la concentración de explotaciones agrícolas y ganaderas intensivas en las proximidades de las áreas urbanas, el problema de gestión de estos residuos tendrá que contemplarse de forma similar al de los residuos municipales. Sin olvidar, sin embargo, cómo se pueden agravar los problemas de contaminación, de no dárseles el tratamiento adecuado.

4.1. INTRODUCCION

El problema de gestión de residuos, ya sean urbanos o bien industriales o mineros, es extremadamente complejo.

En primer lugar, cabe decir que el momento actual es muy poco adecuado para tomar decisiones que comprometan a medio y largo plazo: las políticas adoptadas recientemente en diversos países sobre el aprovechamiento de residuos están provocando un desarrollo, casi explosivo, de tecnologías de tratamiento, algunas se impondrán sobre las demás, y esta perspectiva dará lugar inmediatamente, sin duda, a una creciente agresividad comercial -a una mayor presión sobre los mercados-, para colocar los equipos en uso normal actualmente.

En segundo lugar, es muy importante destacar que no existe una solución única que sea la mejor por sí misma: cada municipio o conjunto de municipios, constituye un problema diferente que precisa de una solución específica.

Si se tuvieran que escoger los factores cuya consideración es más importante se podrían seleccionar los cuatro siguientes:

a) El primero consistiría en el planteamiento integral del problema: es decir, contemplar las operaciones individuales de eliminación y aprovechamiento como elementos componentes de un sistema que, desde múltiples puntos de vista, abarque:

recogida, transporte, separación, recuperación y transformación de los residuos, incluyendo naturalmente la eliminación final de los no aprovechables. Con vistas a la toma de una decisión, carece de sentido el juicio aislado de un método por su balance económico individual sin considerar su repercusión sobre los costes de otras operaciones.

b) El segundo factor procede de considerar las circunstancias de la economía local. Los productos aprovechables presentan, en su mayoría, carácter de concentrados; su valor se encuentra, en consecuencia, muy influenciado por las condiciones locales de mercado. Es decir, que habrá que seleccionar los métodos que lleven a la obtención de los productos que presentan la máxima posibilidad de ser absorbidos por la economía regional.

c) Un tercer factor es la economía de escala, que puede influir decisivamente, en función del volumen a tratar en la elección de los diversos métodos.

d) El anterior factor de economía de escala adquiere particular relieve cuando se considera la conveniencia, particularmente en áreas de gran densidad de población, de abordar el problema por varios municipios, de forma conjunta; en otras palabras, llegar a definir una especie de regiones o zonas naturales desde el punto de vista de la óptima gestión y administración de los residuos sólidos.

En definitiva, dada la complejidad del problema, la elección de una solución debe ser, cada día más, el resultado de estudios realizados por equipos técnicos altamente especializados.

Una herramienta ideal es la confección de modelos que tengan en cuenta, junto con los factores considera-

dos, otros subsistemas tales como: el crecimiento demográfico, la producción y distribución espacial de los residuos, sus tendencias de composición, los efectos sobre la salud pública y el paisaje, los impactos sobre la economía regional, y, en fin, las tecnologías existentes (Figura 5.4.1.).

MODELO REGIONAL DE GENERACION Y EVALUACION DE RESIDUOS

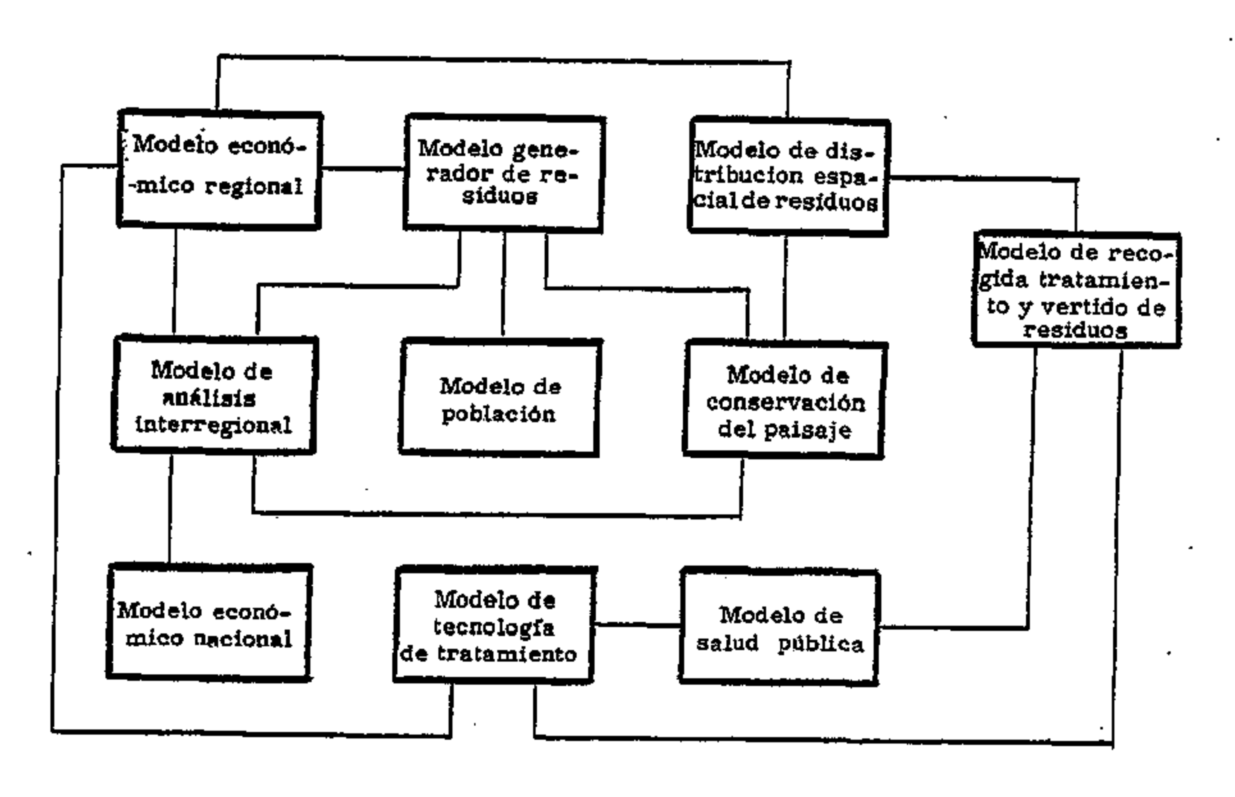


Figura 5. 4. 1.

Para profundizar en el planteamiento general de un problema de gestión de residuos, se desarrollan a continuación, con mayor detalle, los apartados siguientes:

- Postura de la Administración ante el problema de los residuos. Planes Directores para Residuos Urbanos e Industriales.

- Financiación de la gestión de residuos. Las tasas como medio de financiación.

- Objetivos a conseguir y selección de los métodos de tratamiento.

- Inventarios de residuos industriales. Bolsas de residuos.

4. 2. POSTURA DE LA ADMINISTRACION ANTE EL PROBLEMA DE LOS RESIDUOS. PLANES DIRECTORES PARA RESIDUOS URBANOS E INDUSTRIALES

Para la Administración Pública, los residuos son un problema de relativa nueva preocupación. Un rápido

recorrido por la historia justifica y razona esta contemporaneidad.

Civilizaciones tan notables como la romana, y más aún la árabe, que alcanzó altas cotas en materia de higiene, no dejaron referencia plástica ni aún documento escrito sobre la forma en que manipulaban sus residuos urbanos. Por la estructura de sus concentraciones urbanas, algunas de importancia, y por la vida de sus habitantes, los residuos, no debían crearles problemas.

En las ciudades de la Edad Media, carentes o muy escasas de pavimentos en sus calles, abastecidas desde los huertos colindantes, con la artesanía com o embrión industrial y sus viviendas simples y poco higiénicas, pocos problemas podían representar los residuos para sus regidores. No obstante, existía ya alguna legislación, siempre con un marcado caracter sancionador. Tal es el caso del Ordenamiento sobre Limpieza y Policía de las calles publicado en 1337 por el Consejo de Sevilla, primera legislación que sobre la materia se ha encontrado en la Historia de España.

Lo que hoy se conoce como recogida de residuos comienza a ser problema en los finales de la época moderna: los transportes permiten un comercio más amplio, la industria, aunque artesanal aún, va teniendo peso específico, las ciudades ganan en extensión y sobre todo en concentración de habitantes. La limpieza urbana preocupa.

A finales del siglo XVIII, en Sevilla, se promulga una ordenanza que obliga a la retirada semanal, nocturna y escalonada por sectores de las basuras. En términos similares se expresa un edicto municipal publicado en Barcelona en 1730.

Aunque la legislación resultante de la Revolución Francesa tiende a la centralización de poderes, las cuestiones de higiene pública quedan en mano de la autoridad municipal. La Ley de Salud Pública francesa de 1902, obliga al establecimiento de Reglamentos Sanitarios Municipales. La española, de 1910 igualmente hace referencia a los Reglamentos Municipales de Higiene. Mientras tanto, en Inglaterra el Parlamento había votado, en 1848, la primera Ley General sobre Higiene Pública, Public Health Act.

Es en el siglo XX cuando los acontecimientos se precipitan. La revolución industrial produce dos consecuencias trascendentales en relación con los residuos:

- Aparición de las grandes metrópolis y de las áreas superpobladas.

- Profundos cambios en las condiciones laborales.

La expansión de las ciudades se realiza en mancha de aceite, los cinturones industriales y los barrios suburbiales alejan el campo de las ciudades.

La mano de obra que hacía la recogida, sin gravar la economía ciudadana, se conformaba con el beneficio que le reportaba el rebusco y el aprovechamiento agrícola y ganadero en las huertas y granjas cercanas a la ciudad, descubre, que su situación laboral es mejorable. Debe cobrar el servicio que presta a la ciudad. O bien pasa a otra actividad o reclama del municipio una situación estable y remunerada.

Así, los Ayuntamientos que venían, en cuanto a los residuos urbanos, ocupándose de legislar someramente en materia de recogida y de supervisar la actuación del trapero se encuentran con que los residuos hay que transportarlos más lejos y por medios propios.

Aun surjen, más modernamente, otras circunstancias que empeoran la situación:

- La preocupación por la defensa del medio ambiente.

- La crisis de materias primas.

Consecuencia de todas estas incidencias: En los Ayuntamientos se amontonan reclamaciones ciudadanas; declaraciones de principios, leyes de precipitada redacción y ofertas de soluciones, muchas con tecnología debidamente constatada, pero algunas no pasan del puro empirismo. Y todo ello cae sobre una administración local, con estructura decimonónica, carente, en la mayoría de los casos, de técnicos y especialistas en la materia y lo que es más grave con unas economías paupérrimas.

Es pues necesario que la Administración Pública, hoy, se enfrente al problema de los residuos con un plan coordinado y coherente a todos los niveles, que con visión de futuro se comprometa a conservar los recursos naturales y el medio ambiente.

Buen ejemplo de esta programación es la creación en 1965 del Consejo del Gran Londres. Justamente antes de su constitución, la eliminación de cerca de 3 millones de toneladas de residuos al año dependía de 90 autoridades locales con 93 instalaciones para la eliminación. En 1971, bajo el control del Consejo hay sólo 49 instalaciones, estando previsto para el próximo decenio reducirlas a 18.

En el campo de la eliminación la colaboración de la industria y el comercio con la Administración es del máximo interés.

En Baviera, Alemania, se creó en 1970 la G.S.B., sociedad para la eliminación de los residuos especiales de la región. El gobierno regional, participa con el 40% del capital. El resto pertenece por mitades a las industrias y municipios bávaros. La G.S.B. crea y gestiona toda la infraestructura necesaria: estaciones de recogida ocho, ampliable en quince más para 1980, y tres plantas de eliminación. En 1975 trataron 250.000 Tm.

En Holanda, y referido al compostage, existe desde 1932 la Vuil Afvoer Maatchappij (V.A.M.). El Gobierno con amplia mayoría es uno de los dos socios que la constituyen. En el año 1967 controlaba el 90% de la producción holandesa de compost.

Muy interesante es la estrategia seguida en Inglaterra. En 1974 el gobierno inglés publica el Libro Verde: War on Waste (Guerra a las basuras). Se trata de una campaña nacional para reducir la producción de residuos y animar a utilizar los materiales de recuperación. A la vez se crea el Waste Mangment Advisory Council (Consejo Consultivo para la Gestión de los Residuos), donde participan representantes de la industria y de diversos sectores públicos. Su fin es analizar los distintos sistemas de eliminación y la correlación entre utilización y eliminación de los materiales. Basándose en que la rentabilidad del reciclado tiene su base en la existencia de un mercado estable de los materiales recuperados, aconseja al Gobierno las medidas que eviten las fluctuaciones de la demanda. Existe pues en Gran Bretaña un auténtico "mercado de residuos".

En Alemania Federal también existen "mercados de residuos", aquí gestionados por las Cámaras de Comercio e Industria.

Todos los países tienen establecidas ayudas financieras al sector, siendo muy amplia la gama de posibles ayudas. En Suecia, por ejemplo, la subvención puede alcanzar hasta un 50%, pero las ayudas más generosas de todas las existentes en la actualidad son las que establece la Ley de Eliminación de Residuos Sólidos U.S.A. de octubre de 1970 que pueden llegar al 75% del presupuesto.

En España, se han elaborado en los últimos años numerosos Planes Directores para la Gestión de Residuos eminentemente urbanos, en distintas zonas geográficas. Entre ellos destacan el de Sevilla, el de Oviedo, y, sobre todo, el de la comarca del Gran Bilbao. A grandes rasgos, un estudio de este tipo consta de las fases siguientes:

- Análisis de la situación actual.

- Inventario de la información y legislación existente, tanto nacional como extranjera.

- Elaboración y síntesis de la información obtenida utilizando, si es preciso, estudios complementarios especiales.

- Estudio de soluciones. Comparación técnico-económica de distintas alternativas, teniendo en cuenta los factores siguientes:

. Costes de inversión.
. Costes de explotación.
. Contaminación de las aguas, del aire y del suelo.
. Otros factores sanitarios.
. Condicionamientos estéticos.
. Recursos energéticos y minerales. Reutilización de residuos.
. Factores políticos.
. Restricciones legislativas, etc.

- Anteproyectos de Reglamentos para clasificación de los residuos en diversas categorías, almacenamiento, recogida, transporte, procesamiento y vertido de los mismos.

- Definición y estudio económico de los cánones de recogida, transporte, procesamiento y vertido. Tarifas.

- Proyecto de normas de actuación en el almacenamiento, recogida, transporte, procesamiento y vertido de residuos en el periodo de estudios, proyecto y obras.

- Propuesta de financiación para dicho periodo.

- Redacción del plan director definitivo. Se suelen contemplar dos horizontes (en el "Gran Bilbao" dichos horizontes erán los años 1990 y 2010). El Plan Director abarcará todas las materias relativas a los procesos de generación de residuos, su almacenamiento, su recogida, su transporte. su procesamiento y, por último, su vertido final.

4.3. FINANCIACION DE LA GESTION DE RESIDUOS. LAS TASAS COMO MEDIO DE FINANCIACION

El establecimiento de los costes requiere un sosegado análisis. Es necesario hacer un distingo entre lo que podrían llamarse costes reales y costes sociales, de forma especial cuando se trate de un sistema de eliminación con transformación.

El coste social sería el de aquella eliminación de los residuos que satisfaciera las exigencias mínimas de la población en cuanto a protección ambiental.

El coste real de un proceso de transformación sería naturalmente el resultado de restar de los gastos de instalación y mantenimiento del mismo, los posibles ingresos por venta de materia o energía recuperada, a precio de mercado.

Si la diferencia coste real menos coste social es positiva, pueden darse estas dos alternativas:

- Que la recuperación de esa determinada materia o energía represente un bien común para la economía nacional. Es el Estado quien tendrá que cubrir la diferencia. La población afectada por tal instalación, como contribuyentes de la Hacienda Nacional, financiarán junto al resto del país dicho coste añadido, pero nunca como beneficiarios de la instalación.

- Que los "recuperados" representen un bien para un muy determinado sector o individualidad económica. Es este quien tiene que considerar la conveniencia o no de pagar por el recuperado un precio superior al de mercado, suficiente para absorber el desequilibrio económico de la planta de transformación.

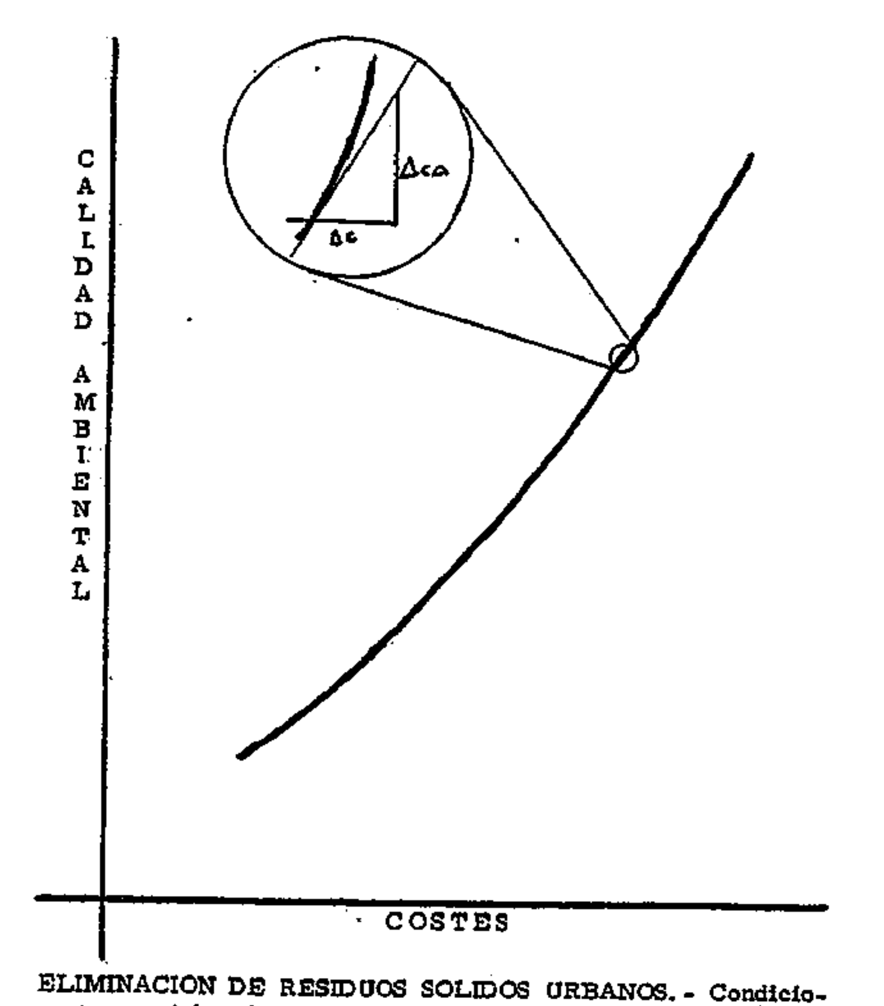
Si la diferencia en cambio es negativa, se distribuyen la economía de forma equiparable a la planteada para el déficit.

Este planteamiento empírico, en el momento de decidir el sistema de eliminación a implantar en cada caso, es muy elemental y su aplicación práctica entraña grandes dificultades. De aquí, que se defienda la conveniencia de la gestión de este servicio a nivel regional, cuando menos, y la creación de un organismo a nivel aún superior, para el análisis y asesoramiento en la materia, a semejanza del Waste Management Advisory Council W.M.A.C., Consejo Asesor para la Gestión de los Residuos creado en 1974 por el gobierno inglés, con miembros representantes de muy diversas industrias y estamentos públicos.

Con análoga filosofía, debiera plantearse la posible modificación de un sistema de eliminación, sea con obtención o no de recuperados.

En los ejes cartesianos, de la figura 5.4.2., se representa la calidad ambiental, en ordenadas y los costes en las abcisas. Se obtiene así la curva teórica de los sistemas de eliminación de residuos. Pasar de un punto de la curva a otro, equivale al cambio de un sistema de eliminación a otro. Este paso debe hacerse únicamente cuando el incremento de calidad ambiental sea superior al de los costes. Dicho en términos puramente matemáticos, cuando la derivada segunda sea mayor que cero.

El servicio de Recogida Domiciliaria de Residuos es un servicio público divisible, entendiéndose como tal que aun estando establecido en beneficio de la colectividad, proporciona beneficio particular a sus usuarios. En base a ello viene sufragado su prestación por la correspondiente tasa municipal. Así lo reconocía la vieja Ley de Régimen Local (art. 440) y lo reconoce explícitamente en su articulo 19 el reciente



ELIMINACION DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS.- Condicionantes sociales de su evolución.

Figura 5.4.2.

(20.12.76) Decreto Real que pone en vigor la parte de ingresos de la nueva Ley de Bases del Estatuto del Régimen Local 41/1975. También los servicios de eliminación consideramos pueden acogerse al mismo artículo en su último y genérico apartado 28, teniendo en cuenta además que la Ley de Residuos Sólidos Urbanos reconocía tal posibilidad. No ha tenido igual suerte los servicios de Limpieza Viaria, tan ligados a la misma problemática y cuando los responsables de estos servicios no han perdido ocasión para reclamar una tasa para tal actividad, pues poco se ha logrado, ya que el artículo 20 del ya mencionado Decreto Real prohibe el cobro por la limpieza de la vía pública.

Las tasas municipales deben diferenciarse teniendo en cuenta:

1. La naturaleza de la utilización del local: vivienda, alojamiento colectivo, establecimiento comercial...
2. Volúmen de residuos producidos.
3. Forma de presentación de los residuos: envases normalizados, contenedores...
4. Situación urbana del local: centro, urbanización cerrada, chalets...

Aunque la fórmula más correcta, y a la que se va tendiendo es a la mezcla de todos los condicionantes.

4.4. OBJETIVOS A CONSEGUIR Y SELECCION DE LOS METODOS DE TRATAMIENTO

Las operaciones fundamentales que pueden tener lugar en el tratamiento de residuos sólidos son los de recogida y transporte, para su eliminación global, en vertido directo, o bien a través de las operaciones de aprovechamiento, eliminando únicamente los inevitables residuos que sobren de tales operaciones. (Figura 5.4.3.).

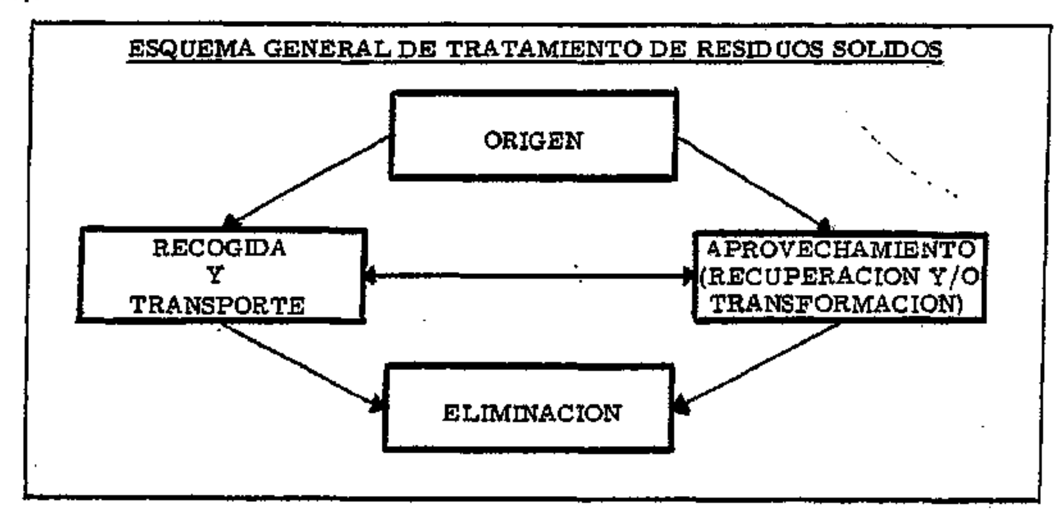


Figura 5.4.3:.

El primer tipo de operaciones -de recogida y transporte- es el más costoso de la gestión de residuos sólidos, habiendo mejorado notablemente en los últimos años con la incorporación de vehículos de carga automática, estaciones de almacenamiento y sistemas neumáticos e hidráulicos de transporte.

El tratamiento, evoluciona rápidamente hacia costes que si no alcanzan los de recogida y transporte se acercan a ello de forma constante, siendo de preveer un aumento espectacular de estos costes en los próximos años, siempre que no evolucionen técnicas de tratamiento más económicas que las actualmente utilizadas.

El conjunto de las operaciones de tratamiento se pueden descomponer como se expresa a continuación (Figura 5.4.4.).

a) Recogida, almacenamiento y transporte.

b) Reducción de volumen, bien sea por compactación o por incineración. El objeto inicial de estos métodos fue el de aliviar los problemas de eliminación.

c) Reducción de tamaños.

d) Separación y concentración selectiva de materiales incluidos en los residuos.

e) Transformación: conversión de determinados productos de los residuos en otros útiles.

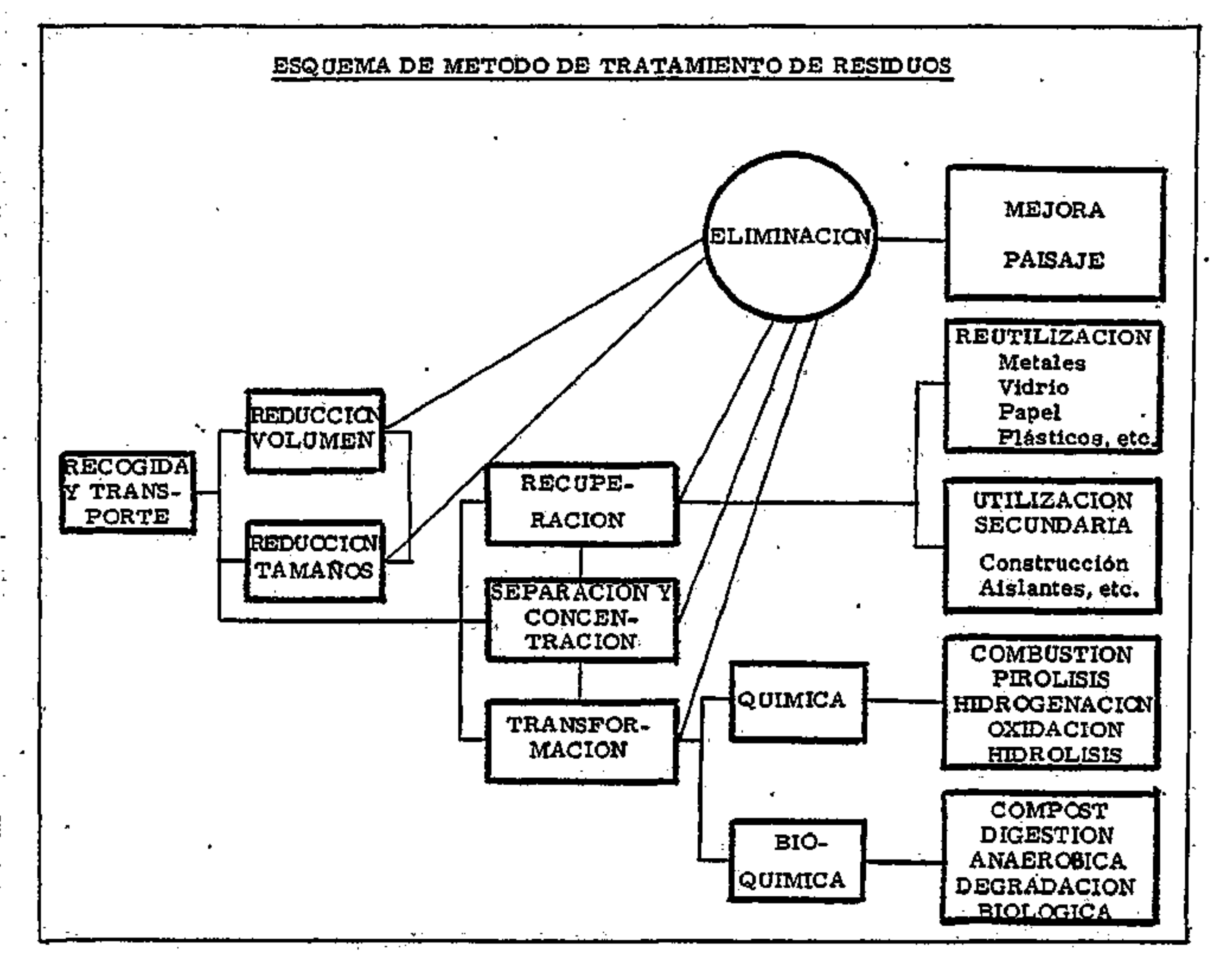


Figura 5.4 4.

f) Recuperación: rescate, en su forma original, de materiales incluidos en los residuos para volverlos a utilizar nuevamente.

g) Eliminación: vertido o vaciado.

Partiendo de la base de que los dos objetivos primordiales de una adecuada gestión de residuos sólidos son:

- Modificar, en cantidad y calidad la producción de residuos.

- Buscar el tratamiento adecuado, en cada caso, de tal manera que se preserve la calidad del ambiente y que se consiga hacerlo de la manera más eficaz posible, al menor costo y administrando racionalmente los recursos naturales.

Se obtienen unos objetivos derivados que deben ser considerados en todos los casos, en el momento de plantearse las distintas alternativas de gestión posibles, y por tanto algunas de ellas en el caso de selección del tratamiento adecuado.

El primero de ellos es evitar el actual despilfarro de la sociedad de consumo. Este objetivo hace ya de por si verdaderamente apasionante el tema del tratamiento de los residuos, por la incidencia que una actividad técnica puede tener en la solución de problemas socio-económicos.

El segundo objetivo derivado es aumentar la duración de los bienes producidos, con lo cual al tiempo que evitamos el despilfarro permitimos una más justa distribución de la riqueza. Este es un tema económicamente muy complejo, puesto que va contra el montaje actual de nuestra sociedad del consumo por el consumo y de la economía de mercado. De que los bienes que se producen duren poco, por imposiciones de la moda, por mala calidad de los propios productos, para que así se compre antes un producto y se fabrique más. De esa forma no estamos haciendo un uso racional, ni mucho menos social de los recursos naturales de que la humanidad dispone.

El tercer objetivo es modificar la composición de los bienes que se producen, de tal manera que sean más fácilmente tratables, aprovechándolos en el mismo u otro ciclo del consumo o eliminándolos al menor costo y con las mayores garantías de que no van a influir en la calidad del medio ambiente.

El cuarto objetivo es desarrollar al máximo todas las operaciones de tratamiento para llegar a eliminaciones eficaces, desde el punto de vista de la contaminación, o al tratamiento más rentable.

El quinto, una vez que no se pueden ya aprovechar los residuos, consiste en mejorar las técnicas de eliminación actuales. Es decir, ya que hay que verter, porque no se ha encontrado otra solución mejor, hagámoslo al menos sin contaminar los elementos del medio receptor.

El sexto objetivo que ha de perseguirse con la gestión es extender la recolección o recogida de los residuos y su tratamiento, tanto geográficamente cuanto llevándolo a residuos que hoy día no se tienen en cuenta. Es decir que lo que se puede hacer entre dos Corporaciones Municipales, mediante una mancomunidad de esfuerzos, no debe hacerse por una sola porque es mucho más rentable el mayor volumen tratado.

El último de los objetivos derivados es establecer un sistema adecuado de control. Tenemos ya los instrumentos jurídicos.

El cumplimiento de los objetivos citados, implica muchos factores, todos los cuales se tienen que considerar cuidadosamente, antes de tomar una solución. Estos factores en los que influyen en la selección de los métodos de tratamiento más adecuados a cada caso, son considerados, al menos en gran parte, cuando se pueda contestar a las siguientes preguntas:

- Cuáles son los medios técnicamente viables y cuáles las limitaciones de cada uno de ellos?

- Son algunos métodos particularmente adecuados o inadecuados a causa de las condiciones locales?

- Qué factores, como los de buena salud pública o menos molestias potenciales favorecen a un método más que otro?

- Pueden interrumpir el tiempo atmosférico, averías mecánicas u otras circunstancias los procedimientos de tratamiento y qué consecuencias puede tener esto para la ciudad?

- Cuáles son los costes de los distintos métodos? Cómo varían y con qué factores?

- Qué influencia tienen los procedimientos de recogida sobre los costes de tratamiento?

- Qué influencia tendrá el método de tratamiento sobre los costes de recogida?

- Qué métodos se pueden adoptar económicamente a las condiciones cambiantes de la ciudad?

- Se pagarán parte de los costes de tratamiento recuperando o aprovechando materiales?

- Qué elementos de cada método encontrarán posiblemente o mala acogida pública?

No se debe terminar esta exposición, sin hacer resaltar tres aspectos que deben ser fundamentales a la hora de elegir las soluciones adecuadas.

- No tiene que ser necesariamente un método de tratamiento mejor que los otros en todos los casos.

- En muchos casos la solución idónea deberá ser una mixta que albergue varios de los métodos de tratamiento existentes.

- Por último, es necesario considerar en todos los casos en que se debe deducir el tratamiento adecuado que la evolución técnica en los procesos de tratamiento, en los próximos años, ha de ser expectacular, dado el gran número de investigaciones existentes sobre distintos procesos, y que por lo tanto, la solución elegida debe intentar no hipotecar el tratamiento a una via fija que pueda quedar desfasada antes de su amortización, sino intentar utilizar procesos, que permitan un rápido y económico acoplamiento de las nuevas tecnologías que se investigan.

4.5. INVENTARIOS DE RESIDUOS INDUSTRIALES. BOLSAS DE RESIDUOS

La iniciación de un plan de actuación para abordar el problema de los residuos sólidos industriales debe de iniciarse por un inventario estadístico de los residuos.

Pueden realizarse dos tipos de inventarios:

- Por actividades industriales.
- Por zonas geográficas o regionales.

En el primer caso se conocen los problemas específicos que afectan a la totalidad de las actividades industriales y/o comerciales, relacionadas con la fabricación de determinados productos.

Se puede citar como ejemplo, un inventario de las actividades de la industria del automóvil. Se valoran y estimarán las cantidades y tipos de desecho de esta industria, aceites, pinturas, plásticos, gomas, metales, pudiéndose establecer las proporciones por unidad y/o tipo de unidad de producción.

Comparando estadísticas de este tipo, puede llegarse a establecer, qué actividades industriales tienen mayor influencia en la generación de residuos y sus características contaminantes, valor potencial con vista a su aprovechamiento, etc., lo que permitirá definir un plan de actuación.

En el segundo caso la encuesta-inventario puede comenzarse de diferentes formas. Puede realizarse sobre la totalidad de empresas de un sector geográfico determinado, o bien, sobre una parte de las empresas que constituyen el conjunto de actividades de la zona estudiada, en este caso la selección de un grupo para que sea representativo del conjunto, es un problema delicado.

Las encuestas pueden presentarse de diferentes formas según el fin buscado.

En el caso que sea suficiente, una estimación global de las diversas cantidades de residuos, la encuesta puede ser efectuada mediante un cuestionario simplificado y expedido por via postal. Los resultados pueden ser suficientes si las organizaciones profesionales apoyan estas encuestas.

Las respuestas serán fiables en la medida en que la persona que responde conoce el problema.

Otra forma de realizar las encuestas, es mediante visita personal a los responsables en las empresas del problema de los residuos. Este método es muy caro y además para que tenga fiabilidad es necesario, el envio de un especialista que consume un tiempo del orden de 4 a 6 horas. Este método debe ser empleado con cierta prudencia. Este método, se hace necesario para tomar una decisión de la instalación de un punto de eliminación de residuos, para el dimensionado de las instalaciones, se requiere un conocimiento muy preciso de las características y cadencias de producción de los residuos industriales. La extrapolación es la parte más delicada, se plantean dos problemas:

- Extrapolación de los resultados obtenidos en el muestreo al conjunto de la zona industrial.

- Prever la evolución en el tiempo.

Los inventarios permiten en primer lugar, establecer la clasificación de los residuos de una zona geográfica. La forma de clasificación es muy variable y depende de las necesidades o condicionamientos primarios del estudio emprendido.

Puede tener como fin principal, conocer la calidad y cantidad de los residuos. Sin embargo, frecuentemente se trata de establecer un esquema de tratamiento que pueda conducir a la creación de plantas de tratamiento colectivo. Los resultados deben ser procesados, mediante medios informáticos. Existen puestos a punto de métodos analíticos que permiten obtener rápidamente informaciones cuantitativas, tal como:

- Producción de determinado residuo por sectores de actividades.

- Producción de determinado residuo por zonas geográficas.

Es frecuente representar los resultados obtenidos, mediante fichas registro y obtención de mapas regionales de la distribución de residuos.

Cuando se observan los resultados de los inventarios, hacen aparecer cantidades considerables de residuos potencialmente recuperables.

Una experiencia interesante, ha sido desarrollada en Francia, estableciendo una "bolsa de residuos". Los productores de residuos publican las calidades y cantidades de productos reciclables. La organización se pone en contacto con las empresas interesadas por la oferta. La dificultad principal consiste en encontrar

un equilibrio, entre la oferta y la demanda. En efecto, en el momento que se presenta un comprador el industrial productor piensa en no considerar su residuo como tal.

En España, se ha desarrollado últimamente un estudio para la confección de una Bolsa de Residuos Industriales similar a la indicada para el país vecino.

5.1. INTRODUCCION

Dada la gran diversidad de composición existente en los residuos sólidos y, muy específicamente, en los de origen industrial, antes de proceder al diseño de una planta de recuperación o transformación, es preciso conocer con el mayor rigor posible, cuantitativa y cualitativamente, los componentes de los residuos a tratar.

Para ello, es preciso efectuar una serie de operaciones de muestreo y análisis. Dada la complejidad de muchos de los métodos analíticos a utilizar, un estudio exhaustivo de los mismos se saldría por completo del ámbito del Manual de Ingeniería Ambiental. Por ello sólo se indicarán a continuación los procedimientos más utilizados, con una breve reseña de los mismos.

Para el alumnado que desee profundizar en este tema, se recomienda la obra "Methods of Sampling and Analysis of Solid Wastes", editada por el Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control (EAWAG), CH-8600 Dübendorf (Suiza), Department of Solid Wastes Disposal (1970).

5.2. MUESTREO DE RESIDUOS URBANOS

Teniendo en cuenta las fluctuacones de composición a lo largo del año, es aconsejable realizar tantos muestreos como sea posible, bien distribuidos a lo largo del año.

En el caso de residuos urbanos, son aconsejables 12 muestras al año para ciudades grandes y 8 muestras para ciudades medias o pequeñas comunidades, razonablemente distribuidos a lo largo del año. Deben efectuarse en cada caso muestreos a lo largo de 5 días de duración.

El área total debe dividirse en distritos, prefijando el número de contenedores a recoger en cada distrito en función de la población del mismo. La recogida debe efectuarse mediante un vehículo sin compresión.

El peso total de residuos recogidos, no debe ser inferior a los 1.000 Kgs.

Una vez mezcladas todas las muestras recogidas, se procede a un nuevo muestreo para conseguir unos 100 Kgs. de muestra compuesta. Esta muestra se separa y se tritura evitando cualquier pérdida de agua (Método III del texto citado). La sustancia resultante se conoce por el nombre de muestra bruta ("crude sample").

5.3. ANALISIS Y DETERMINACIONES MAS FRECUENTES

Los análisis más frecuentes a realizar en una muestra de residuos sólidos, ya sean industriales o urbanos son los que se indican a continuación:

- Determinación aproximada de porcentajes cualitativos (composición).
- Determinación del contenido en humedad.
- Determinación del poder calorífico.
- Determinación del contenido en lípidos.
- Determinación del contenido en sólidos volátiles y cenizas.

- Determinación del contenido en líquidos (fracción líquida).
- Determinación del contenido en fibras.
- Determinación del contenido en azúcares.
- Determinación del contenido en levadura.
- Determinación del contenido en carbono.
- Determinación del contenido en nitrógeno (orgánico y amoniacal).
- Determinación del contenido en proteínas.
- Determinación de la relación C/N.
- Determinación del contenido en fósforo (fosfatos).
- Determinación del contenido en potasio.
- Determinación del pH.
- Determinación del contenido en azufre.

Evidentemente, esta lista no es exhaustiva y el número de determinaciones a efectuar deberá fijarse en cada caso en función del origen y de la futura utilización del residuo a tratar.

A título de ejemplo, se incluyen a continuación consideraciones sobre algunos de los métodos analíticos indicados.

5.4. DETERMINACION APROXIMADA DE PORCENTAJES CUALITATIVOS (COMPOSICION)

Los residuos se descargan en un lugar, a ser posible cubierto y con piso no terrizo, limpio y exento de agua. Se extienden en el suelo formando una torta de 3 a 4 m de diámetro y se procede a cuartearla. La torta se divide en cuatro sectores circulares. Se toman dos de ellos, expuestos por el vértice y se rechazan los otros dos. Con estos dos sectores se repite la operación, si fuera necesario, para que quede una muestra final de unos 250 Kg.

Se efectúa un cribado de los residuos, una vez extraídos los de gran tamaño por dos cribas sucesivas de 25 y 5 mm. de forma que se consiga una clasificación por tamaños. La fracción que pasa la criba de 25 mm. está compuesta por materia orgánica fermentable y componentes poco definidos de todos los tipos. Los finos que pasan la de 5 mm. se consideran exclusivamente compuestos por tierras y cenizas.

Se efectuan las pesadas de todos los componentes seleccionados y se calculan los porcentajes de composición, en peso, hasta completar el boletín correspondiente al muestreo.

5.5. DETERMINACION DEL CONTENIDO EN HUMEDAD

Para la determinación del contenido en humedad de una muestra de residuo existen básicamente tres procedimientos:

- Secado en horno, con circulación de aire forzado, y determinación del contenido en humedad por diferencia de pesadas.

- Método de rayos infrarrojos, que sólo da una idea aproximada del contenido en humedad.

- Método de destilación después de inmersión en tolueno del residuo a analizar. La destilación se efectúa

a la temperatura de ebullición del tolueno (110, 8ºC). El tolueno y el vapor de agua condensan en una trampa de vapor pero, al ser inmiscibles se separan, recuperándose el agua obtenida. Este método es de menor exactitud que el secado en horno, pero es mucho más rápido por lo que es el más recomendable. En la figura 5.5.1.. puede observarse el dispositivo analítico utilizado.

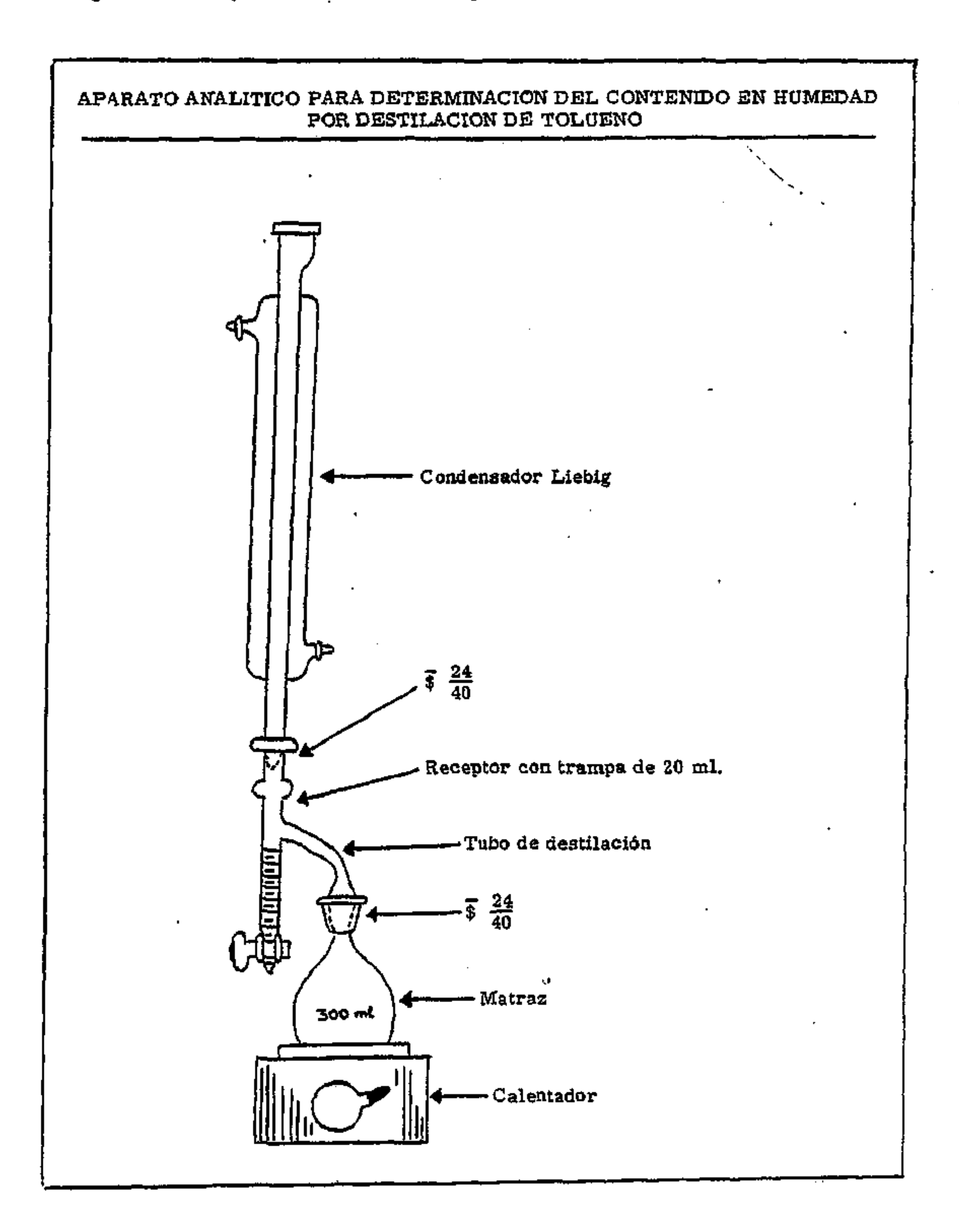


Figura 5.5.1 .

- <u>Secado en estufa</u>

Material:

- Estufa, preferible con circulación perforada.
- Desecadores.
- Balanza analítica de 200 gr. de capacidad.
- Porta muestras con tapa de 50 a 100 gr. de capacidad.

Método:

Muestras por duplicado de 50 a 100 gr. de residuo compost u otros residuos orgánicos, triturados, se pesan en porta muestras tarados y se someten a secado en estufa durante 24 horas a la temperatura de 75ºC hasta pesada constante. Temperaturas superiores a 75ºC deben ser evitadas para proteger la pérdida de materias volátiles tales como, compuestos amoniacales y lípidos. Con muestras de humedad superior a 60%, el periodo inicial de secado, debe ser del orden de 48 horas.

La muestra de lodos con humedades del orden de 70-75% previamente deben de "presecarse" en baño maría antes del secado en estufa.

Cálculos:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{pérdida en peso}}{\text{peso en húmedo de la muestra}} \times 100$$

- <u>Secado por infrarrojos</u>

Método muy rápido y de suficiente exactitud para determinar el contenido de humedad para su aplicación al proceso de incineración y compostaje, no es recomendable para el secado de muestras destinadas a posteriores determinaciones analíticas, dado que suele producirse pérdidas de materias volátiles.

Material:

- Balanza de tipo infrarrojos con capacidad de 25-50 gr.

Método:

Deben de seguirse las instrucciones del constructor de la balanza. La lectura es directa en por ciento de humedad. Especial cuidado debe tomarse para evitar un sobre-exceso de temperatura y que pueda producirse la tostación y/o quemado del material a secar.

- <u>Extracción con tolueno y/o destilación</u>

El método está basado en la destilación del agua de los residuos mediante destilación con tolueno a 110,8ºC. Los vapores de tolueno y agua se condensan y se recogen en un tubo graduado en cm^3, el agua y tolueno no son miscibles, quedando el agua en la parte inferior.

Materiales:

- Matraz de destilación de 250-300 cm^3, tipo Pirex, conectado a un tubo de destilación con trampa de 20cc. calibrada en 0,1 cc.

- Refrigerante.

- Reactivos, tolueno calidad rectivo químico.

Método:

El aparato limpio y seco después de limpiarlo con una solución sulfúrica de dicromato y lavado con alcohol se seca en estufa a 100ºC.

Un peso de 30 gr. de residuos pesado con exactitud de 0,1 gr. se pasa al matraz de destilación y se añaden unos 75 cc. de tolueno.

Se conecta el matraz -tubo de destilación y refrigerante: Se llena el tubo de recogida con tolueno, añadiéndolo por la parte superior del refrigerante y se inicia la destilación durante un período de 30 minutos. Lavar el refrigerante y tubo de destilación con una pequeña cantidad de tolueno y proceder de nuevo a la destilación.

Terminada la operación se lee el volumen de agua recogida y se calcula la humedad en % en peso.

5.6. DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO

La muestra debe tratarse en un molino de martillos hasta pasar por la malla de 1 mm. Los finos obtenidos se someten a sucesivas operaciones de cuarteo hasta obtener cinco muestras.

Estas muestras pasan a determinación en bomba calorimétrica para el cálculo de su poder calorífico inferior. Se considera que la toma de muestras ha sido representativa cuando el valor obtenido para la muestra "A" entra dentro del intervalo de variación de los restantes cuatro valores a, b, c y d. Al cumplirse este requisito se toma como poder calorífico inferior de la muestra seca la media aritmética de los cinco valores obtenidos.

Por las determinaciones anteriores se conocen los datos de base para el cálculo:

- Humedad en % (b).
- Combustibles en % (a).
- Inertes en %.

Sea A_1 la cantidad de calorías/grano dadas por la bomba calorimétrica y A_2 la cantidad de calor absorbida por el agua.

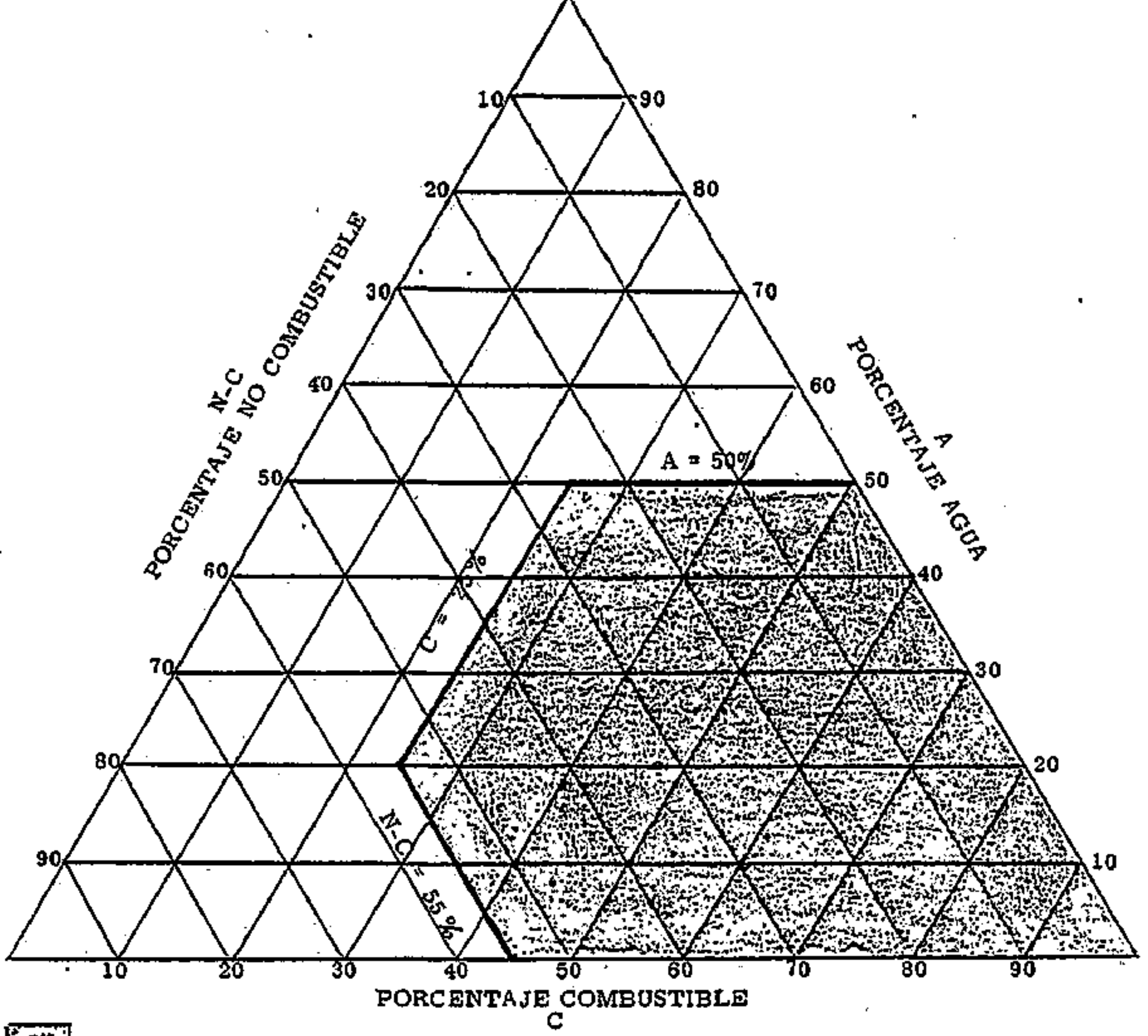
Se hace la hipótesis de que los inertes no entran en el balance (aunque de hecho absorven calor) para simplificar los cálculos.

Siendo "a" el porcentaje de fracción combustible, y "b" de humedad el P.C.I vendrá dado por la fórmula:

$A_1 a - A_2 b = P.C.I$

Hay que notar también que no se introduce en los cálculos el calor necesario para elevar la temperatura del vapor y gases en general, hasta aquella en que se halla la cámara de combustión del horno, ya que cada tipo de hornos incineradores tiene su propia temperatura de funcionamiento y otras particularidades que influyen en élla; pero que si de hecho se conocen hay que introducir en los cálculos, como un sustraendo más, la cantidad de calor que necesitaría el agua para elevarse a la temperatura ambiente de la cámara.

COMPOSICION LIMITE PARA QUE LOS RESIDUOS SEAN AUTOCOMBUSTIBLES



Se estima que los residuos arden sin necesidad de añadir fuel suplementario cuando la composición media queda dentro del área sombreada.

Figura. 5.5.2

5.7. DETERMINACION DE MATERIAS VOLATILES O CENIZAS

Material:

- Estufa de secado, balanza analítica, desecador, crisoles tipo alto, y horno de mufla con control de temperatura.

Método:

En el crisol calcinado y tarado, se toma una muestra de 3 a 6 gr. del residuo. Se seca a 75ºC en estufa durante dos horas. Se coloca el crisol en un horno de mufla y se eleva la temperatura lentamente hasta 600-650ºC y se mantiene la temperatura durante 2 horas. Se enfría en desecador y se pesa.

Cálculo:

$$\frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 = \%\ \text{sólidos volátiles}$$

100 - % sólidos volátiles = cenizas

El valor de los sólidos volátiles indica de forma aproximada, el contenido en materia orgánica de los residuos.

5.8. DETERMINACION DEL CONTENIDO EN LIPIDOS

Los lípidos (aceites, grasas y ceras) tienen un poder calorífico alrededor de 16.700 B.T.U., valor muy superior al de otros componentes de los residuos. Se presentan en estado líquido a las temperaturas de compostaje.

Material:

- Extractor Soxhlet de 125 cc., cartuchos de papel, baño de maría y/o placa de humos, estufa, balanza analítica, desecador y porta muestras.

- Reactivos: eter, etílico.

Método:

Tomar una muestra de residuo en un porta muestras y secarlo durante dos horas en la estufa a 75ºC. Se pasan 5 gramos, aproximadamente, de la muestra seca a un cartucho de extracción. Su pesada analítica se obtiene por diferencia.

Se monta el Soxhlet con 80 cc. de eter, el matraz ha sido previamente tarado. Se mantiene el proceso de extracción durante 16-18 horas.

Terminada la extracción evaporar el eter en baño maría, bajo campana de humos. Finalizada la evaporación, mantener el matraz con el residuo de lípidos en una estufa a 75ºC, durante una hora. Enfriar el

matraz en desecador y pesar en la balanza analítica.

Cálculos:

$$\frac{\text{Peso del residuo o extracto en eter}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 = \%\ \text{lípidos}$$

Este valor es el contenido de los residuos en compuestos solubles en eter, puede considerarse que prácticamente son las grasas, aceites y ceras.

5.9. DETERMINACION DEL CONTENIDO TOTAL DE COMPONENTES LIQUIDOS

El total de componentes líquidos en el caso de la fermentación aerobia, es importante, pues un exceso de humedad puede retardar la fermentación, pero debe considerarse el total de los componentes líquidos.

Cálculo:

El total de componentes líquidos, se calcula a partir de la humedad, contenido en lípidos y cenizas, todos ellos referidos en % con respecto a la muestra húmeda.

$$\%\ \text{lípidos}_{mh} = \frac{\text{lípidos } m_s \times (100 - \%\text{humedad})}{100}$$

$$\%\ \text{cenizas}_{mh} = \frac{\text{cenizas } m_s \times (100 - \%\text{humedad})}{100}$$

mh = muestra húmeda
ms = muestra seca

$$\text{total de la fase líquida} = \frac{100\ (\text{humedad} + \text{lípidos ms})}{(100 - \%\ \text{cenizas } m_s)}$$

La humedad óptima para un proceso de compostaje, está comprendida entre 52-62 % expresado en forma del total de líquidos, los límites óptimos quedan reducidos a 67-70 %.

5.10. DETERMINACION DE CARBONO

Material:

- Horno de inducción, fuente oxígeno con rotámetro y válvula crisoles de platino, tubos de absorción de gases.

- Reactivos: óxido de aluminio, hidróxido sódico 0,4 N (libre de CO_2) hidróxido amónico (libre de CO_2) 0,4 N, cloruro básico 0,8 N.

Método:

Se pesan de 25 a 50 mgr. de muestra previamente secada en estufa a 75ºC durante dos horas, en crisol de platino y se recubre la muestra con óxido de aluminio.

Se introduce en la cámara del horno a inducción y se ajusta el paso de oxígeno a un caudal de 500cm3/mn

La salida de gases del horno, se conecta al tubo de absorción que contiene 20 cc. de NaOH 0,4 N.

Se mantiene la combustión durante 15 minutos. Terminada la combustión, el contenido del tubo de absorción se pasa a un vaso de 200 cc. se lavan cuidadosamente las paredes del tubo de absorción con agua destilada. Se precipita la solución alcalina de sosa (que contiene el CO_2 formado en la combustión con 25 cc. de solución Cl_2Ba - Cl NH_4 preparada mezclando 1 volumen de solución 0,8 N. de Cl_2Ba y cuatro volúmenes de solución 0,4 N, de $ClNH_4$. El precipitado se deja durante un periodo de 2 horas a temperatura ambiente, filtrar sobre un crisol Gooch, previamente tarado, lavar el filtro del crisol con acetona y secar en estufa a 100ºC durante 2 horas, enfriar en desecador y pesar.

$$\text{carbón} = \frac{6,08 \times \text{peso de } CO_3Ba}{\text{peso de la muestra}}$$

En la Figura 5.5.3.. se puede observar el dispositivo analítico de absorción de gases.

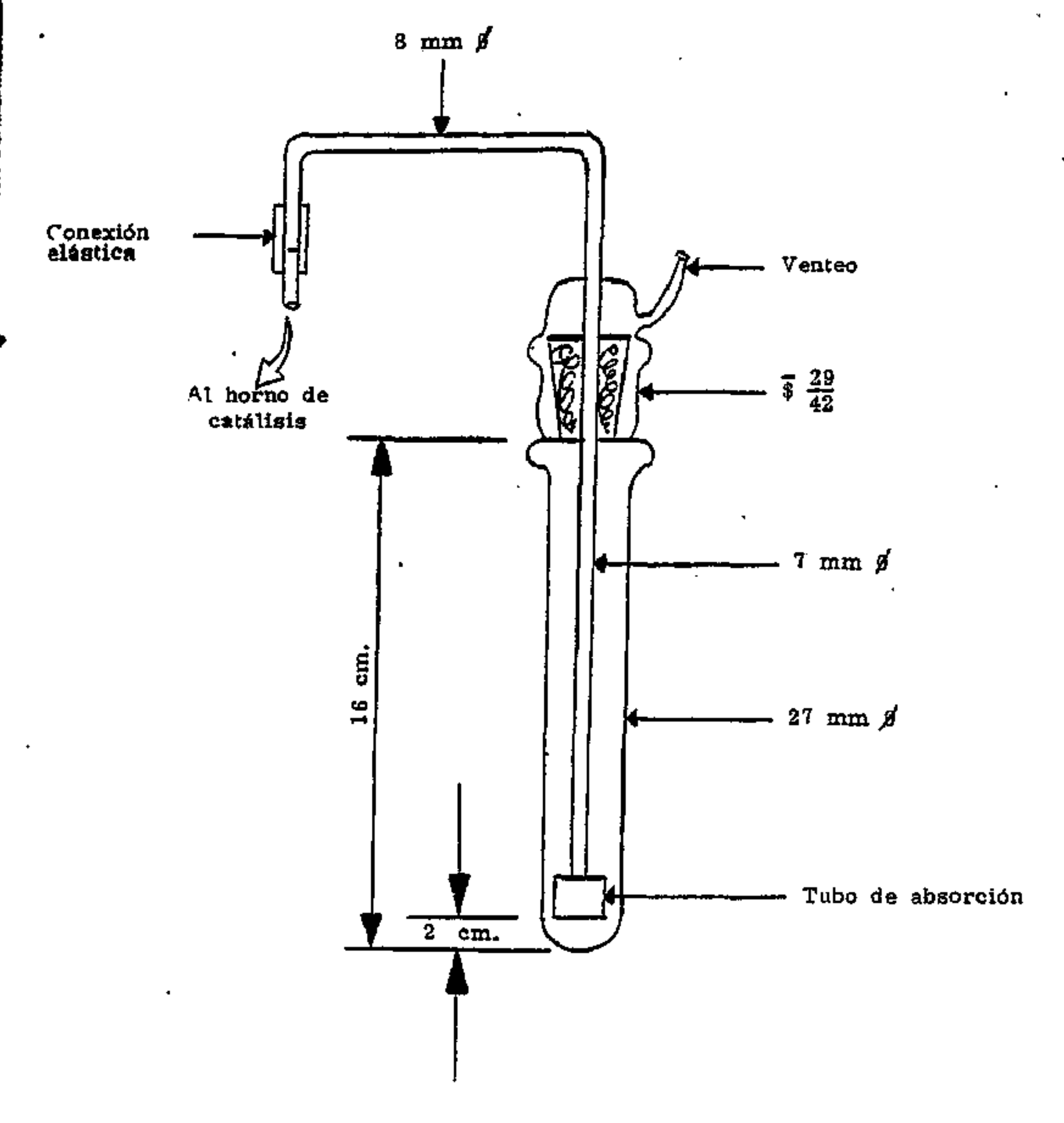


Figura 5.5.3.

5.11. DETERMINACION DE NITROGENO

Método: Kjeldahl - Wilfarth - Guuning

Material:

Equipo de matraz y destilador Kjeldahl de 800 cc., campana de humos, material de vidrio.

Reactivos:

Solución 0,1 N de SO_4H_2 (valorada)

Solución 0,1 N de NaOH valorada con la solución de SO_4H_2

SO_4H_2 de 93 ó 96% libre de nitratos ó $SO_4(NH_4\ _2)$

Oxido de mercurio

Solución de hidróxido sódico-tiosulfato sódico: se disuelven 450 gr. de NaOH en agua, y se añaden una vez fría la solución 80 gr. de $S_2O_3Na_2 \cdot 5\ H_2O$, enfriar y completar con agua hasta volumen de 1 litro.

Indicador: solución de Rojo de metilo, disolver 1 gr. de rojo de metilo en 200 cc. de alcohol etílico de 95%.

- Sulfato potásico y granalla de cinc.

Método:

Pesar en la balanza analítica de 1 a 2,5 gr. de muestra previamente desecada, durante 2 horas en la estufa a 75ºC, sobre un papel de filtro de calidad analítica. Se pliega el papel y se introduce en matraz Kjeldahl. Se añade 20 gr. de SO_4H_2, 0,8 gr. de óxido de mercurio y 25 cc. de SO_4H_2 concentrado. Calentar lentamente, bajo estufa hasta que cese la creación de espuma, y después mantener durante 2 h. la ebullición hasta que la solución sea casi incolora. Enfriar y añadir 200 cc. de agua, disolver el residuo formado, añadir 1 gr. de granalla de cinc y 75 cc. de la solución alcalina de tiosulfato.

Conectar el matraz, mediante el tubo Kjeldahl al destilador comenzar la destilación, recogiéndose el destilado en la solución de SO_4H_2. 0,1N - (50 cc.). Normalmente se recogen 150 cc. de destilado. Terminada la operación se valora la solución ácida de SO_4H_2 0,1 N, con sosa 0,1 N, empleando como indicador rojo de metilo.

Debe realizarse un ensayo testigo en blanco para determinar el contenido de N_2 de los reactivos, se usa como materia orgánica glucosa.

Cálculo:

Testigo: cc de SO_4H_2 0,1 N x factor - cc de NaOH 0,1 N x factor (1)
Ensayo: cc de SO_4H_2 0,1 N x factor - cc de NaOH 0,1 N x factor (2)

Muestra = 2 - 1 - cc equivalentes de ácido en la muestra.

$$\% \text{ nitrógeno} = \frac{(\text{nº de cc equivalente en la muestra}) \times 14 \text{ mg.} \times \text{conc. del ácido}}{10 \text{ (peso de muestra seca)}}$$

El nitrógeno medido corresponde al nitrógeno contenido en la materia orgánica y nitrógeno amoniacal, el contenido potencial de nitratos y nitrilos no se detecta.

El contenido en proteinas se puede calcular multiplicando el porcentaje de nitrógeno por 6,25.

5.12. DETERMINACION DEL FOSFORO Y POTASIO

Material:

Equipo Kjeldahl de digestión de 800 cc., campana de humos, espectrofotómetro o colorímetro, estufa de secado, desecador, balanza analítica, pipetas.

Reactivos:

SO_4H_2 93 a 96% de riqueza

NaOH 10 N - (40%)

Solución de molibdato amónico - se disuelven 5 gr. de molibdato amónico en un litro de ClH 0,75 N.

Solución sulfato de metil - para aminofenol. Se disuelven 10 gr. de PO_4H_2K seco en agua y se diluye hasta 1 litro. 1 cc. de esta solución es equivalente a un miligramo de P_2O_5.

Método:

Se pesan aproximadamente 3 gr. de muestra desecada en estufa a 75ºC durante dos horas. La pesada se realiza en balanza analítica. Se pasa la muestra al matraz Kjeldahl se añaden 25 cc. de SO_4H_2 concentrado. Digerir en la estufa hasta que el contenido del matraz tiene un color rojizo que indica que la materia orgánica ha sido destruida. Se enfria y se pasa a un matraz aforado de 200 cc. con la ayuda de agua destilada, añadir solución de sosa hasta pH alcalino, usando como indicador fenolftalina, y una vez frio se enrasa con agua hasta 200 cc. Se filtra y en la solución filtrada se determina el contenido en fósforo y potasio.

5.13. DETERMINACION DE FOSFORO

Se toman 10 cc. antes preparada en matraz de 100 cc. y se añaden 30 cc. de molibdato amónico y 10 cc. de solución de sulfato de metil-para-aminofenol.

Se preparan con la solución standard de fosfato monopotásico una serie de patrones, que contengan 1-2-4-6-8 y 10 mg. de P_2O_5, añadiendo cantidades de molibdato amónico y solución de sulfato de metil-para-aminofenol en iguales cantidades a la solución del problema. Estas soluciones permiten preparar la curva de calibrado del colorímetro o espectrofotómetro.

Se miden en colorímetro o espectrofotómetro la solución problema y se compara con los patrones preparados.

Cálculo: $\frac{\text{Mg de } P_2O_5 \text{ (equivalente al patrón)}}{\text{peso en gramos de la muestra}} = \% \ P_2O_5$

5.14. DETERMINACION DEL POTASIO

Material: crisoles filtrantes, estufa de secado, desecador y balanza analítica.

Reactivos:

Solución de boro tetrafenil sódico. Se disuelven 23 gr. de $(C_6H_5)B\ Na$ en aproximadamente 800 cc. de agua. Se añaden 20 gr. de hidróxido de aluminio y se agita durante 10 minutos. Se filtra y 100 cc. de filtrado que no contenga nada de sólidos, si es necesario se filtra varias veces, se diluye en 1 litro.

Solución de E.D.T.A. - ácido etilen-diamina tetra acético. Se disuelven 40 gr. de sal sódica de E.D.T.A. en agua destilada en matraz aforado de un litro.

Solución al 40% de NaOH 10N.

Solución de lavado - Se disuelven 0,10 gr. de borotetrafenil sódico en 900 cc. de agua. Se añaden 5 gr. de $Al(OH)_3$, se agita durante cinco minutos. Se filtra y diluye a 1 litro.

$CO_3(NH_4)_2$

Folmaldeído 36% de riqueza.

Método:

Se toman 50 cc. de solución preparada según se indicó para la determinación de fósforo y potasio, en un vaso de 250 cc. Se hace ligeramente alcalina con $CO_3(NH_4)_2$ y se añaden 10 a 25 cc. de solución E.D.T.A., 10 cc. de formaldeído, 5 cc. de NaOH 10N (40%) y 100 cc. de H_2O destilada.

Lentamente, y mientras se agita, se añaden 1 cc. de solución de borotetrafenil sodio por cada miligramo de K_2O que se supone existe en la muestra y 10 cc. en exceso sobre este cálculo. Se deja reposar durante 10-15 minutos.

El precipitado formado se filtra en crisol de vidrio con placa filtrante previamente secado en estufa y tasado.

Lavar el precipitado repetidamente con la solución de lavado usando un total de 50 cc. y lavar finalmente el precipitado, con 5 cc. de agua destilada, secar en estufa a 110ºC, enfriar en desecador y pesar.

Cálculo:

$$\frac{\text{Peso del precipitado x 13.143}}{\text{peso de muestra inicial}} \times \frac{\text{200 cc. de solución preparada para la determinación de potasio y fósforo}}{\text{cc. tomados para la determinación}}$$

6.1. INTRODUCCION

A efectos de estudio, las operaciones fundamentales de tratamiento de residuos pueden clasificarse dentro de tres grandes grupos:

- Recogida, almacenamiento y transporte.
- Aprovechamiento (recuperación selectiva o transformación).
- Evacuación.

El primer tipo de operaciones es, sin duda, el más costoso y ha sido mejorado notablemente con la incorporación de vehículos de carga automática, estaciones intermedias de almacenamiento y sistemas neumáticos e hidráulicos de transporte.

La operación de recogida y evacuación de residuos comprende todo el encadenamiento de fases operativas que abarcan desde la retirada del desperdicio en el punto donde el productor lo ha situado o abandonado, hasta su entrega o descarga en el centro de eliminación correspondiente.

6.2. CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS A RECOGER

Atendiendo a su procedencia, circunstancia característica y definitoria a grandes rasgos de su composición, los residuos se clasifican del siguiente modo:

- Residuos urbanos.

- Residuos generados dentro del ámbito de la actividad industrial.

- Todos aquellos residuos no englobados por los dos puntos anteriores y cuya gestión requiere en su diversidad un planteamiento y tratamiento específico.

6.3. RECOGIDA DE RESIDUOS URBANOS

Un servicio para la recogida de residuos urbanos exige un previo y cuidadoso planteamiento en el que se valoren y ponderen todos los condicionantes propios de cada caso. Deben considerarse entre otros, los siguientes aspectos:

- anchura de las calles;
- cuantía y densidad de la población;
- tipos de edificaciones;
- sentidos de circulación viaria;
- repercusiones eventuales del trabajo nocturno;
- cuadro de características del residuo a escoger;
- posibilidades de normalización de cubos y baldes;
- ordenanzas municipales;
- distancia desde la población al centro eliminador o de descarga;
- fluctuaciones estacionales de la cantidad de residuos producidos;
- naturaleza por sectores urbanos, de las condiciones domésticas, comerciales e industriales;

- incidencias climatológicas que puedan afectar al planteamiento del servicio.

Partiendo de esta información, puede estructurarse un servicio completo de recogida de residuos urbanos a través, entre otras menos importantes, de las siguientes etapas definitorias:

- número y modelo de los vehículos recolectores. En cada caso se emplea el tipo más idóneo que permita, en lo posible, optimizar rendimientos;

- recorridos perfectamente definidos para cada vehículo con determinación específica de horario e itinerario;

- parque para mantenimiento y aparcamiento del material, con su correspondiente plantilla de personal especializado;

- lanzamiento de campañas publicitarias recabando la cooperación ciudadana para conseguir una buena calidad del servicio.

6.4. RECOGIDA DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Hay que distinguir dentro de los genéricamente denominados residuos industriales, dos tipos de desperdicios. Uno de ellos es aquel derivado de la genérica actividad industrial, en tanto que el otro es el resultante no aprovechable, al menos en una forma integrada dentro del ciclo productivo, de los respectivos procesos industriales. Su recogida y posterior transporte al centro eliminador o aprovechador exige un previo planteamiento en el que antes de definir medios, instalaciones y personal resolutorios, se analicen todas las variables propias del caso, que a título indicativo pueden enumerarse del siguiente modo:

- cantidad periódica de desperdicio;
- naturaleza del desperdicio, peso específico, estado físico, características físicas y químicas;
- condicionantes propios de la industria productora o sea capacidad de almacenamiento, peretoreidad de la recogida, etc.
- destino final.

Dado que este servicio de recogida se desarrolla principalmente a base de contenedores con una muy amplia gama de capacidades y características, son también muy numerosos los equipos y vehículos apropiados para la manutención de los mismos y en definitiva para la prestación del servicio. Su correcta elección, basada en la aplicación ponderada de una corta serie de criterios básicos, es el factor decisivo para asegurar en lo posible, un resultado uniforme y correcto.

6.5. RECOGIDA DE RESIDUOS ESPECIALES

Por sus especiales características y condiciones una serie de residuos que no pueden incluirse dentro de las anteriores clasificaciones, exigen una gestión específica de recogida que igualmente y quizás con mayor motivo necesita un planteamiento y un estudio analítico.

Dentro de esta denominación genérica figuran en relación no exhaustiva los siguientes residuos:

- animales muertos, desperdicios de matadero, fideicomisos y sobrantes de los mercados de abastos;
- residuos hospitalarios;
- residuos líquidos;
- residuos radioactivos;
- residuos mineros;
- escombros y derribos.

Cada uno de ellos tiene una problemática propia, muy a tener en cuenta en el momento de planificar su recogida y conducción a los centros de eliminación.

6.6. PROBLEMAS DE INFRAESTRUCTURA URBANA Y URBANISMO

Las ciudades que pretenden solucionar los problemas están ahí, son inmutables, no pueden cambiarse, y por lo general están constituidas por zonas residenciales, comerciales, industriales, barriadas populares, núcleos aislados. También zonas monumentales y zonas viejas, con carencia absoluta de una red de calles de dimensiones apropiadas para una fácil recogida de los residuos. Estas partes de la ciudad no se pueden cambiar, pero se puede y debe influir para que las nuevas edificaciones no carezcan de los mínimos imprescindibles en los que se incluyen los retranqueos y chaflanes de las esquinas para que la recogida de residuos pueda hacerse de una manera higiénica, rápida y eficaz.

Por supuesto, en aquellas Colonias o núcleos aislados, que, al día siguiente de entregar las casas, se llenan de automóviles, puede decirse que la recogida se realizará de una manera incómoda no sólo para el camión colector sino para el mismo público usuario del servicio. Por tanto, al final todo serán protestas.

6.7. PROBLEMAS DE TRAFICO

De lo dicho anteriormente, se deduce que si no existen unos viales apropiados en anchura y no está resuelto el problema del aparcamiento, utilizando lugares apropiados para ello, en las propias casas o subterráneos, se producirá un grave problema de tráfico. Incluso si la recogida es nocturna, habrá zonas en que las maniobras de los camiones resultarán casi imposibles de realizar. Aún a pesar de estos inconvenientes, la recogida se realiza. Sin embargo, será necesario, a priori, estudiar perfectamente la densidad de tráfico, en las llamadas horas punta, con el fin de adecuar un itinerario, buscando posteriormente el camión apropiado, sacrificando incluso su rendimiento, para poder dar el mejor servicio posible. Ante los problemas de tráfico que se puedan dar, debe existir una estrecha colaboración con la Policía Municipal, ya que ellos son los que, una vez que el camión comienza a trabajar en las calles son los únicos que pueden ayudar a amortiguar las incomodidades producidas a los automovilistas.

6.8. PROBLEMAS DE EDUCACION CIUDADANA

Este puede ser el problema de más difícil solución. La educación ciudadana es auténticamente necesaria a la hora de la recogida. De ella depende la forma de presentación de los residuos, muy importante no sólo de cara a la limpieza de la ciudad, sino frente al elemento humano que diariamente tiene que recoger y limpiar lo que otros han arrojado sin ningún cuidado.

Al tiempo que la recogida ha sido establecida y está en funcionamiento debe crearse paralelamente una fuerte campaña de publicidad en todos los medios, prensa, radio, cine, televisión, etc. con el fin de que

el ciudadano se dé cuenta y se sienta culpable de la suciedad que él mismo produce. Por supuesto es también preciso realizar otra campaña a nivel de los colegios y escuelas, para que esta educación ciudadana se introduzca desde la infancia. Es decir, que las nuevas generaciones sepan respetar lo que las viejas no han sabido comprender.

Asimismo, se debe intentar conseguir que la recuperación o separación se realice en el mismo punto de producción. Este sistema es actual en diversas ciudades extranjeras. Por ejemplo, en Cuba se recuperan todos los productos de posible valor. Una vez por semana se lleva a cabo la recogida de papel, cristales, plásticos y productos fermentables. En Suiza, la empresa VETROPAC (una de las mayores productoras de botellas del país), con la ayuda de los diversos municipios ha conseguido recuperar una gran parte de cristales, haciendo una recogida semanal o mensual (dependiendo de la producción).

En algunos estados de Norteamérica, es una realidad la recuperación del papel. Para ello, utilizan un pequeño contenedor que va directamente remolcado por el vehículo colector.

Es evidente que el éxito de este tipo de recuperaciones depende también del grado que se haya alcanzado en la educación ciudadana. Es de esperar que este tipo de recogidas selectivas pueda proliferar, en un futuro no muy lejano, en nuestro país.

6.9. DISTANCIA A LOS PUNTOS DE DESCARGA. ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

La recolección de los residuos debe ser estudiada conociendo los puntos de descarga ya que existen una serie de variables que tienen gran incidencia económica en el resultado final. Si las distancias son grandes, existirá un consumo mayor de carburantes, mayor probabilidad de accidentes a lo largo del recorrido, gran cantidad de unidades pesadas y peligrosas circulando por carreteras y autopistas, tiempos muertos no productivos del personal. También se incide en la prestación de un buen servicio al ciudadano por la obligatoriedad de mantener los horarios de los itinerarios.

Determinada la forma y manera de realizar una recogida de basuras domiciliaria, fijados los itinerarios, tipos de camiones, horarios y personal, hay que pensar en donde se encuentra ubicado el lugar de vertido o descarga para su eliminación o transformación. Por lo general están situados a distancia considerable del centro de la ciudad.

Surge de esta forma la idea de situar estaciones intermedias entre los puntos de producción y descarga, en las que los vehículos depositan los residuos que, posteriormente, son trasladados en grandes camiones a los lugares de vertido a cualquier hora del día o de la noche.

Realizar el transvase significa aumentar los costes de recogida pero se entiende que este mayor coste viene absorbido por el ahorro que se produce en los vehículos de recogida al disminuir las distancias, aumentar o mejorar los servicios en las ciudades y obtenerse una mayor productividad del binomio camión-operarios.

6.10. RECOGIDA DIURNA Y NOCTURNA

El hecho de que la recogida sea diurna o nocturna obedece, no a un capricho de los municipios, sino a circunstancias especiales que concurren en las ciudades.

Habría que hacer una clasificación según el número de habitantes. Siempre que una ciudad supere los cien mil habitantes, hay que pensar en ir a realizar los servicios de noche, debido principalmente a la densidad de tráfico existente a primeras horas de la mañana, cuando la gente a acude a su trabajo.

Si se trata de ciudades turísticas o de veraneo y, por supuesto, con vida nocturna, el servicio debe ser realizado a primeras horas de la mañana, con el fin de que aproximadamente a las 10 horas de la mañana la ciudad se encuentre completamente limpia.

El problema que se plantea en la recogida nocturna, sobre todo a altas horas de la madrugada, es el ruido que producen los vehículos al hacer funcionar sus mecanismos.

Se han realizado estudios de cada uno de los camiones utilizados y por lo general ninguno es completamente silencioso. Claro que el ruido producido es la suma del ruido del motor del camión y de la caja receptora. El primero muy difícil de quitar por cuanto las empresas fabricantes de camiones no se preocupan lo necesario. El segundo quizá sea más fácil de disminuir, al existir una mayor competencia entre los fabricantes de cajas colectoras, que hace que las empresas busquen continuamente mejoras de todo tipo con el fin de eliminar a los otros competidores.

Otro problema que hay que tener muy en cuenta a la hora de implantar la recogida nocturna, es la mano de obra. La mayoría de las veces, es muy difícil de encontrar y, sobre todo, lo más problemático es cambiar de horario a las personas que trabajando de día pasan a realizar el servicio de noche.

6.11. RECOGIDA POR GESTION DIRECTA DEL AYUNTAMIENTO

El sistema de Gestión Directa consiste en que el Ayuntamiento pone los medios mecánicos, la mano de obra y los técnicos competentes para el correcto funcionamiento del sistema de recogida de residuos.

Si la ciudad es pequeña, por debajo de los cincuenta mil habitantes, la realización del servicio por el municipio no crea mayores problemas que los que pueda dar el mantenimiento de los vehículos. Si desde el principio se programa bien cada año en el presupuesto municipal la partida destinada a la Sección de Recogida, no tienen por qué existir problemas en cuanto a almacenaje de piezas de recambio, combustibles y lubricantes.

Si por el contrario la ciudad es de tipo medio, superior a los cien mil habitantes, el hecho se complica. El número de camiones es más numeroso, por lo que existirán diferentes modelos, y al final el almacén deberá estar repleto de piezas de recambio de todas las marcas y modelos con el consiguiente problema de dinero inmovilizado. Los talleres tendrán más personal especializado, se necesitarán mandos intermedios, y una mano de obra entre conductores y peonaje muy digna de ser tenida en cuenta. Es decir, el municipio se encontrará con un problema muy serio de personal.

Como, por lo general, las arcas municipales de estas grandes ciudades casi siempre se encuentran vacías, las casas suministradoras de material y repuestos se retraen en vender, debido a que se pasan mucho tiempo sin cobrar.

Al final de todo esta forma de gestión en este tipo de ciudades es incómoda, llena de problemas y al final el que paga las consecuencias es el ciudadano. Por lo tanto en estas ciudades debe ser desechado por el municipio la forma de realizar el servicio de recogida de residuos por Gestión Directa.

6.12. RECOGIDA POR CONTRATACION

A la vista de los problemas que plantea la Gestión Directa, los Municipios encuentran la solución a sus problemas descargándose de la Gestión en una empresa contratista. Esta empresa debe seleccionarse adecuadamente para conseguir un buen servicio a un buen precio.

Si se quiere un buen servicio, hay que estudiar al menor detalle la ciudad, los itinerarios a realizar, número y tipo de camión en cada caso así como las reservas, los servicios especiales, conductores y peonaje, teniendo presente el aumento por vacaciones, libranzas y enfermedad. Todo ello enmarcado perfectamente dentro del llamado pliego de condiciones técnicas. A la empresa se le debe dejar libertad de elección en lo que respecta a mandos superiores e intermedios así como en el personal del taller.

Una vez elaborado ese pliego de condiciones, hay que estimar el coste del servicio pretendido para poder juzgar a posteriori las ofertas presentadas, teniendo un margen de tolerancia de hasta un $\pm$ 15%, no debiendo nunca adjudicarse a la oferta más baja si dicha oferta está fuera del margen prefijado.

Es muy interesante dejar a elección de la empresa posibles mejorar que puedan ser interesantes a los municipios.

Unos municipios hacen un contrato global por cierta cantidad de dinero, otros contratan por tonelaje recogido y transportado y otros eligiendo un cierto tipo de vehículo y el personal necesario para el mismo.

6.13. COSTE DE LA RECOGIDA

Fundamentalmente, el coste de la recogida está basado en dos factores muy importantes: el personal y los vehículos y su mantenimiento.

El primero debe ser estimado muy concienzudamente, por cuanto en él está la base de una buena recogida. Hoy por hoy, se encuentra fácilmente personal para cumplir esta misión pero llegará un momento en que o se pagarán sueldos astronómicos o se tendrá que importar mano de obra barata, al igual que lo están haciendo otros países europeos.

El precio por mano de obra se podrá descomponer en los siguientes conceptos:

- -Salario base.
- -Antiguedad.
- -Prima de asistencia.
- -Plus de transporte.
- -Plus de Penosidad y Peligrosidad.
- -Gratificaciones 18 julio, navidad y vacaciones.
- -Seguro de accidentes.
- -Cotización a la Seguridad Sociedad.

En cuanto al concepto de vehículos, conservación y entretenimiento, su coste se desglosará en los siguientes términos:

- Vehículos y amortización de los mismos.

- Combustibles.
- Lubricantes.
- Cubiertas y cámaras.
- Material de reparación.

En Madrid las cifras que se manejan en tanto por ciento son las siguientes:

- Mano de obra .... 67,63 %
- Amortización de vehículos e instalaciones y su conservación .... 19,31 %
- Otros conceptos .... 13,06 %

Ahora bien, si el servicio de recogida de residuos ocasiona unos gastos muy importantes al municipio, éste debe de estar preparado para hacer frente a ese coste, disponiendo, paralelamente, un servicio de recaudación, con el fin de mantener un equilibrio entre costes e ingresos. Aún en el caso de que los aumentos, según mantienen muchos municipios, no son políticos ni populares. Este impuesto en forma de tasa, debe abarcar los conceptos de recogida, eliminación y limpieza viaria.

6.14. VEHICULOS UTILIZADOS PARA LA RECOGIDA

Los vehículos especiales, concebidos para la recogida de residuos, se agrupan en los siguientes tipos diferenciales:

- Vehículos recolectores sin compresión (sólo utilizados para muestreos o para situaciones de emergencia).
- Vehículos recolectores con compresión.
  . Compresión mediante placa pivotante.
  . Compresión mediante tambor rotatorio helicoidal.
  . Compresión mediante placa alternativa rotatoria.
  . Compresión mediante tornillo helicoidal.
  . Sistemas para vaciado mecánico de cubos y baldes.
  . Sistemas para vaciado mecánico de contenedores.
- Vehículos para la autocarga y movimiento de contenedores (contenedores normalizados con capacidades entre 4 y 35 m^3).
  . Sistema de autocarga mediante grúa basculante.
  . Sistema de autocarga roll-on.
- Vehículos diseñados para la recogida de residuos especiales.
  . Vehículos para la recogida de residuos líquidos y fangos.
  . Vehículos para la recogida de residuos hospitalarios.
  . Vehículos para la recogida de animales muertos.
  . Vehículos para la recogida de automóviles y vehículos abandonados.
  . Vehículos para la recogida de residuos de alcantarillas y lodos de diversa procedencia.
  . Máquinas para la recogida de hojas caídas.

6.15. CONTENEDORES Y EQUIPOS COMPLEMENTARIOS EMPLEADOS EN LA RECOGIDA DE RESIDUOS

Dentro de la amplia gama que comporta este epígrafe, su agrupación sistematizada adquiriría la división siguiente:

- Contenedores para el sistema de grúa basculante.
- Contenedores para el sistema roll-on.
- Cubos y baldes.
- Contenedores para ser vaciados en el interior de recolectores.
- Compactadores estáticos.
- Contenedores para el sistema roll-on con compactador incorporado.

6.16. INSTALACIONES LOGISTICAS

El centro nervioso de un servicio de recogida es el parque donde se organiza, programa y lanza los recorridos y el trabajo y en donde se realizan las operaciones de mantenimiento del material como requisito indispensable para garantizar el correcto desarrollo del servicio.

Los cometidos principales de la base logística y de mantenimiento adscrita a un servicio de recogida se resumen en los siguientes puntos:

- Mantenimiento de vehículos y material.
- Dependencias y servicios propios del personal.
- Centro administrativo.

6.17. MANTENIMIENTO DE VEHICULOS Y MATERIAL

Este objetivo se consigue con la implantación y correcto funcionamiento de las siguientes secciones y cometidos:

- Aparcadero apropiado para el material.
- Poste para el suministro de combustible.
- Nave industrial apropiada para los trabajos de mantenimiento de flota.
- Almacén de lubricantes, neumáticos y piezas de repuesto.
- Plan preventivo y engrase.
- Diagnóstico de averías.
- Reparación mecánica
- Chapistería.
- Pintura.
- Reparación eléctrica y baterías.
- Almacén de útiles y herramientas.
- Reparación hidráulica.
- Lavado.
- Administración de parque.
- Mantenimiento de parque.

7.1. INTRODUCCION

En muchos casos, antes de proceder a una descarga en vertedero o a un vertido controlado, tal y como se indicará más adelante, las basuras sufren una reducción de volumen en una planta de tratamiento. En efecto. el problema fudamental de los vertederos es el de utilizar al máximo el espacio de que se dispone. Por ello, cada vez proliferan más las instalaciones de trituración de basuras urbanas, que logran condensar la basura en un mínimo de espacio.

Algunas veces también se utilizan reducciones de volumen mediante instalaciones de compactación.

7.2. TRITURACION DE RESIDUOS

La trituración de residuos es una de las operaciones de más amplia aplicación para cualquiera de los procesos o tratamiento que posteriormente se aplique a los mismos.

Con la trituración se consigue un producto más homogéneo y de más fácil manejo. Con referencia al vertido controlado, puede decirse que la reducción de volumen que se consigue influye positivamente en la economía del transporte posterior, obteniéndose también un tamaño de producto que mejora las condiciones de higiene del vertedero por la mayor rapidez en la fermentación.

Se describen a continuación los elementos que intervienen en una planta de trituración, que generalmente se ajusta al siguiente proceso:

- Pesada.
- Recepción, descarga y almacenamiento.
- Alimentación.
- Trituración.
- Separación magnética.
- Transporte a vertedero.

7.2.1. Pesada

El sistema de pesada consiste normalmente en una báscula puente situada en la entrada de la planta. Existe una plataforma metálica o de hormigón donde se coloca el camión, obteniéndose su peso total, que puede imprimirse sobre un ticket.

En plantas de gran capacidad en las que se producen fuertes puntas en la llegada de camiones, el sistema de pesada puede ser electrónico con lectura digital y equipo de registro para el debido control.

7.2.2. Recepción, descarga y almacenamiento

La zona de recepción debe diseñarse con la suficiente amplitud como para permitir las correspondientes maniobras a los camiones que descargan los residuos.

La descarga y almacenamiento puede realizarse en plataformas o fosos. En el caso de plataformas, los

residuos deberán empujarse mediante tractor con bulldozer o dispositivo similar, al sistema de alimentación.

Los fosos van dotados de puentes grúa, que suministran el producto a los siguientes dispositivos de alimentación.

Normalmente, en plantas de gran capacidad se recomienda el sistema de foso con puente grúa. El foso va cerrado y con puertas de acceso al mismo con apertura y cierre automáticos.

Cuando se manejan residuos de baja humedad, suele instalarse en el foso un sistema de pulverización de agua que entra en funcionamiento en los momentos de descarga donde se produce un ambiente polvoriento.

Los puentes grúas empleados son de tipo convencional. La cuchara de que van dotados puede ser de tipo bivalva o de garras. Los labios de las valvas y extremos de las garras deben ir reforzados mediante cordones de soldadura de acero al manganeso de gran resistencia al desgaste.

7.2.3. Alimentación

Con independencia de los puentes grúas y tractores de empuje, existen otros dispositivos de alimentación propiamente dichos: alimentadores de planchas y vibrantes.

El alimentador de planchas está basado en el del mismo tipo empleado para áridos.

Consiste en una bandeja de planchas metálicas solapadas para formar un conjunto de gran rigidez.

El arrastre de las planchas se realiza por cadenas y la impulsión de las mismas se efectúa mediante ruedas dentadas de alta resistencia.

El diseño de estos alimentadores se hace normalmente para trabajo horizontal, aunque para manejo de residuos sólidos se vienen usando con un tramo horizontal y otro inclinado.

Dado que la alimentación con estas máquinas es volumétrica, su capacidad no es constante, sino que depende de la densidad de la basura en cada momento, por eso el dispositivo de accionamiento incorpora un variador de velocidad.

Los alimentadores vibrantes son muy adecuados para conseguir una mayor regularidad en la lámina de residuos a alimentar. En instalaciones de este tipo se sitúan a continuación de los alimentadores de láminas o bien entre el puente grúa y el alimentador de láminas.

7.2.4. Trituración. Tipos de trituradores

Esta operación se realiza en dos tipos de máquinas fundamentalmente: trituradoras de impacto y de martillos oscilantes.

Las trituradoras de impactos consisten en un bastidor metálico en cuyo interior gira un rotor con martillos fijos colocados siguiendo líneas generatrices del rotor. Los residuos son lanzados por el rotor con-

tra una placa de impactos que dispone de unos muelles de estabilización que permiten una variación en la separación entre placa rompedora y rotor. Esta máquina produce un tamaño de salida muy poco homogéneo y su única ventaja es su capacidad para reducir elementos voluminosos o contundentes. (Figura 5.7.1.)

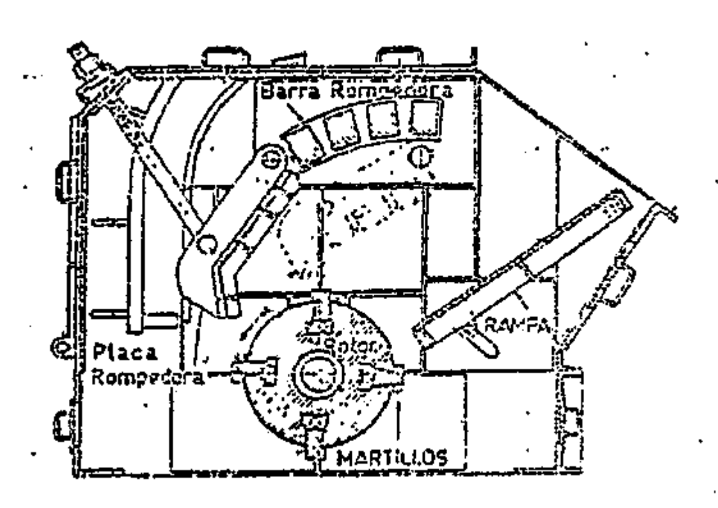


Figura 5.7.1. - TRITURADORA DE IMPACTOS

Dentro de los trituradores de martillos oscilantes existen dos tipos: de eje vertical y de eje horizontal.

El pulverizador de eje vertical consiste en una base a la que se sujeta un motor para accionamiento del eje vertical mediante poleas y correas. (Figura 5.7.2.).

La cámara de trituración es cilíndrica, coronada en su parte superior por un tronco de cono invertido. El eje tiene como soporte en la parte superior de dicho cono un cojinete de rodillos y en la base de la máquina se encuentra el otro cojinete.

Existen tres zonas en el interior de la máquina: zona de reducción previa, zona de rechace y zona de molienda. La sección de reducción previa es la parte cónica superior que lleva sólo unos pocos martillos que reducen parte de los residuos a un tamaño del orden de 40 mm.

La sección de rechazo es la parte más estrecha del cono, en la que los martillos pasan a gran velocidad de tal manera que los objetos pesados o metálicos de un tamaño superior a la separación existente entre martillos y pared, son rechazados hacia arriba hasta ser expulsados por una abertura lateral. Esta abertura es regulable mediante una plancha metálica, estando provista de fuertes cortinas de goma que sólo permiten a los objetos pesados ser lanzados al exterior.

La sección de molienda es toda la parte cilíndrica, que va provista de barras de molienda.

La salida del producto se realiza por la parte inferior que no lleva ningún tipo de rejilla.

Los martillos tienen dos extremos de trabajo y se pueden rellenar con soldadura.

La capacidad máxima de estas máquinas es de 15 Tm/h.

Los martillos deben cambiarse cada 100 Tm. aproximadamente y los revestimientos laterales cada 400-500 Tm.

Su boca de alimentación no permite alimentar objetos muy voluminosos, que deben ser separados previamente.

En cuanto al sistema de separación balístico, puede decirse que no es totalmente efectivo ya que algunos elementos contundentes tienen un peso que supera la acción del impulso balístico. Por otra parte, al actuar este efecto con una gama muy amplia de productos, produce un rechazo que no constituye exclusivamente la fracción férrica, por lo que para recuperarla debe ser sometida a separación magnética.

Finalmente, puede añadirse para estos pulverizadores que al ser el efecto balístico función de la velocidad periférica, se requieren accionamientos a alto número de revoluciones (1.500 - 3.500 mm.) lo que incrementa el peligro de serios daños en el interior de la máquina cuando se alimenta con elementos realmente irreducibles.

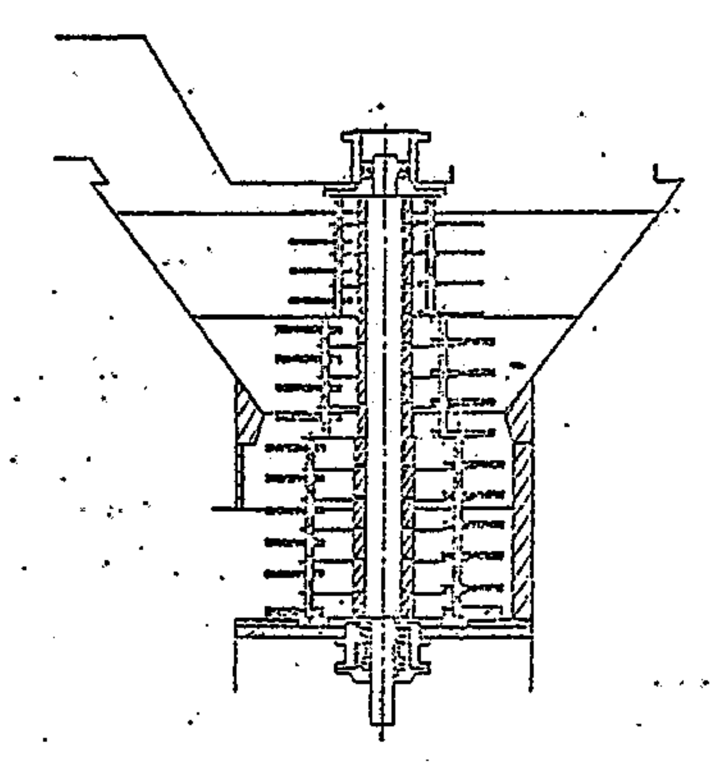


Figura 5.7.2. - TRITURADOR DE EJE VERTICAL

Las máquinas de martillos de eje horizontal son las que tradicionalmente han venido empleándose con más éxito para la reducción de residuos sólidos. (Figura 5. 7. 3.)

El rotor de la máquina está constituido por discos calados en el eje. El rotor dispone de varios pasadores que sujetan cada hilera de martillos que pueden girar libremente sobre ellos. La velocidad de giro está comprendida normalmente en 400 y 800 rpm.

Los martillos son de diseño especial, disponiendo de extremos recubiertos con electrodo de aleacion espe-

cial para una larga duración. Su peso es en la mayoría de los casos superior a 40 Kgs. por unidad, y cada extremo de trabajo suele durar aproximadamente de 1.500 a 2.500 Tm.

Las parrillas de descarga están situadas en la base, y formadas por pletinas soldadas, con una abertura de separación que dependerá del producto a obtener.

Normalmente, estas máquinas incorporan sistema hidráulico para apertura de bastidor, dando así fácil acceso al interior para realizar el mantenimiento.

El cambio de martillos se realiza mediante dispositivo también hidráulico y un pequeño polipasto.

El accionamiento de estos trituradores se realiza mediante motor eléctrico acoplado directamente o a través de poleas y correas. Este segundo ofrece más flexibilidad y es más recomendable por las irregularidades a que se ve sometido el sistema con un producto tan heterogéneo como el que se maneja.

Estos motores eléctricos deben estar dimensionados para soportar puntas de consumo muy superiores a las normales, durante tiempos de hasta 5 y 10 segundos, varias veces por hora.

Estas máquinas también incorporan sistema de eliminación de irreducibles, que actúa exclusivamente sobre aquellos elementos que por sus características de peso y consistencia, pudieran dañar la máquina. El dispositivo es un by-pass, que elimina al exterior los irreducibles sin pasar por la rejilla.

Otra de las características de diseño de estos trituradores es su gran boca de alimentación, lo que permite introducir en los mismos prácticamente todos los elementos por voluminosos que sean, contribuyendo así al ahorro de mano de obra, que siempre es necesaria cuando se realiza una selección previa.

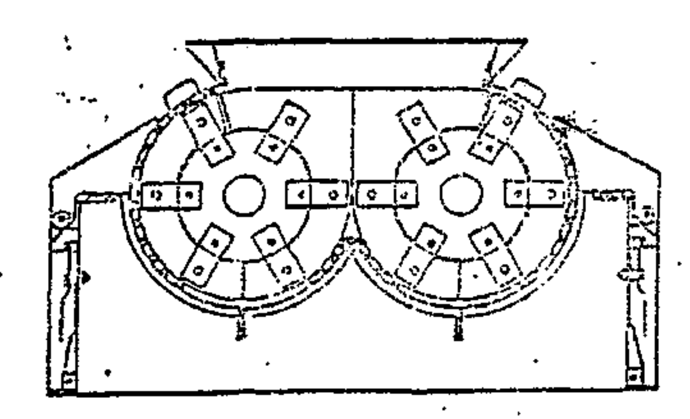


Figura 5.7.3. - TRITURADOR DE DOBLE EJE HORIZONTAL

7.2.5. Separación magnética

Existen dos equipos empleados en esta operación: tambor magnético y over-band (separador de banda magnética).

El tambor magnético, que puede ser la polea de cabeza de una cinta transportadora, produce un campo magnético que mantiene los materiales ferromagnéticos adheridos al tambor hasta que son desplazados del

campo, cayendo por una tolva. Cuando se trata de realizar esta operación sobre el material transportado mediante un elemento distinto de una cinta transportadora, este tambor es una unidad aislada colocada junto al extremo de caída del material.

El que se ha denominado over-band consigue sin embargo mejor rendimiento que el tambor magnético. (Figura 5.7.4.).

Este elemento consiste en una banda de goma que se mueve dentro de un campo magnético. El campo capta los elementos férricos y la banda los desplaza lateralmente hasta que la pérdida del campo hace que caigan en la zona destinada para ello.

La efectividad de este tipo de separador es muy alta siempre que su montaje sea adecuado, lo que requiere el conocimiento del campo magnético y su influencia en materiales férricos próximos. Estos separadores tienen un límite en cuanto a su poder para captar piezas pesadas.

Su instalación se hace normalmente en sentido transversal a la banda transportadora, cuando se sitúa en posiciones intermedias y en prolongación cuando se coloca en el extremo de descarga.

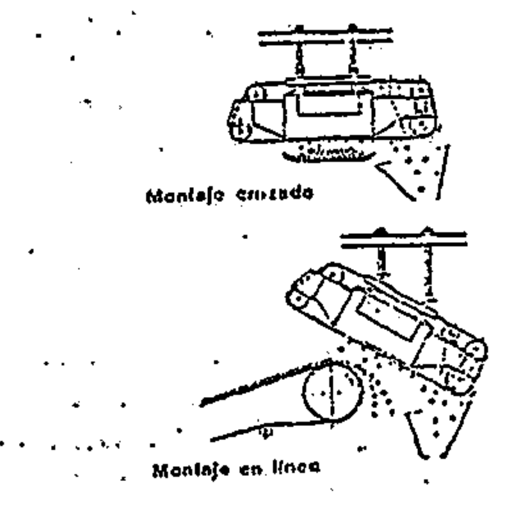


Figura 5.7.4. - SEPARADOR MAGNETICO TIPO "OVER-BAND"

7.2.6. Transporte a vertedero

El transporte de los residuos se suele realizar mediante cintas transportadoras o cadenas de arrastre. El método más empleado es la cinta transportadora, que por su sencilles de contrucción y explotación, lo aconsejan en la mayoría de los casos.

Las cintas o bandas transportadoras son similares a las que se emplean en el transporte de áridos y minerales, sin embargo es preciso tener en cuenta para su diseño las características del material a manejar, como son baja densidad, granulometría poco uniforme y ataques químicos de los elementos que componen los residuos.

Se deberá tener en cuenta:

a) la anchura de las bandas será la adecuada a la granulometría y densidad del producto a transportar.

b) La velocidad no debe ser alta para evitar dispersión de partículas.

c) Los sistemas de limpieza deben ser efectivos para evitar acumulación de materiales en rodillos que contribuyan al descentramiento, con las consiguientes interrupciones en el proceso.

Las cadenas transportadoras discurren por el interior de un conducto arrastrando el producto en su movimiento. Este método presenta la ventaja de ser cerrado, pero el mantenimiento es de un coste superior al de las bandas transportadoras por constante desgasta a que se ven sometidos sus elementos. Presenta sin embargo la ventaja sobre las bandas transportadoras de permitir mayores inclinaciones en el transporte.

Ejemplo de instálación de trituración

Se describe a continuación una instalación tipo para una capacidad de 200 Tm/día de basura con una jornada de trabajo de 10 horas. Por lo tanto, el ritmo de funcionamiento de la instalación se ha previsto de 20 Tm/hora, aún cuando todos sus elementos se sobredimensionen para poder aguantar puntas de 22 Tm/hora de basura.

Se describe a continuación, de forma somera, la instalación de trituración. (Figura 5. 7.5 .).

Los camiones de basura descargan sobre una plataforma a la que llegan mediante una rampa de acceso. Las basuras allí descargadas son recogidas por palas cargadoras que las conducen hasta una tolva de recepción. En el fondo de dicha tolva, se encuentra situado un extractor de planchas metálicas. Este extractor arrastra las basuras hasta una cinta transportadora-elevadora, que conduce el producto hasta un molino de martillos. Este molino llevará chapas de desgaste de acero al manganeso. Los martillos serán de acero al carbono F-5.

Será un molino de dos rotores situados con sus ejes respectivamente perpendiculares. Esta situación permite obtener la granulometría deseada en el producto final.

Será posible variar dicha granulometría aumentando o disminuyendo el número de martillos, así como las dimensiones de dichos martillos.

Sobre la cinta de alimentación a molino, irá un separador electromagnético para eliminar los metales férreos, como botes, etc.. Esta eliminación es totalmente necesaria para el buen funcionamiento de la trituración.

Los metales recogidos son conducidos a una prensa en la que dichos productos son preparados para su comercialización bajo forma de pacas.

A la salida del molino, las basuras son evacuadas mediante una cinta giratoria de distribución que las va amontonando en pilas dispuestas para ser recogidas y esparcidas por las palas cargadoras.

La obra civil necesaria para una instalación de este tipo, se reducirá en un cobertizo de estructura metálica, bajo el que irá situada la totalidad de la maquinaria.

Este cobertizo tendrá una cubierta de fibrocemento y bajantes para pluviales también de fibrocemento.

Serán necesarios también:

- Edificio de oficinas y servicios.
- Plataforma de descarga de camiones con solera de hormigón.
- Caseta de transformación de energía eléctrica.
- Tolva de recepción.
- Todo tipo de cimentaciones de maquinaria y de sustentación del cobertizo.

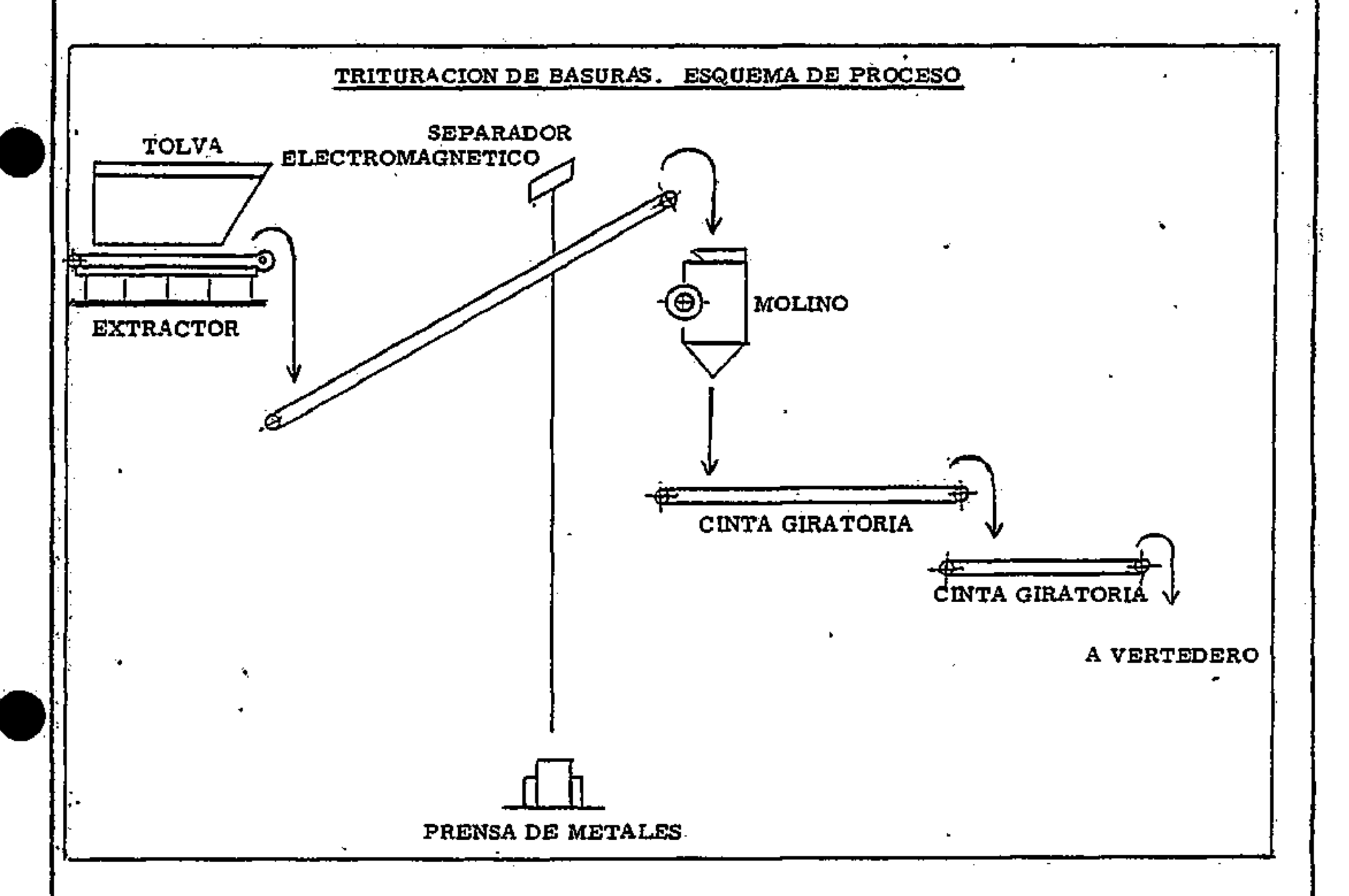


Figura 5.7.5..

En una planta de 200 Tm/día, la potencia total instalada en Kw es aproximadamente:

- Fuerza 185
- Alumbrado 30

Total 215

Coeficiente de simultaneidad: 0,90
Coeficiente de consumo: 0,80
Potencia total consumida: 158 Kw

Por lo tanto, el consumo de energía eléctrica al cabo de una jornada de trabajo de 10 joras será: 1.580 Kw.h/día.

Como agua de limpieza se utilizará un caudal de 7 m^3/día y para los servicios entre 1 y 3m^3/día. Se tendrá, por lo tanto, un caudal total de agua de 8 a 10 m^3/día.

Una instalación completa como la que se ha descrito, incluyendo la obra civil, así como el montaje y la puesta en marcha de la totalidad de la maquinaria, puede tener un coste de alrededor de los 80 millones de pesetas, de los cuales 20 corresponderían a la obra civil y 60 a la maquinaria.

Este tipo de instalaciones son muy necesarias, sobre todo cuando, a continuación, pretende instalarse un vertedero controlado.

7.3. COMPACTACION ESTACIONARIA A ALTA PRESION

El sistema de compactación que comprime residuos mezclados en balas, ofrece en principio un futuro esperanzador. Este sistema ha funcionado en Japón con éxito desde 1968. Estudios de laboratorio mostraron que el contenido de las balas de basura compactada se descomponía mucho más lentamente que la materia orgánica similar en vertederos operados de forma standard.

El bajo índice de descomposición y alta densidad de las balas, cuyo peso oscila entre 1 y 2 Tm, permite el uso del área de vertido para múltiples propósitos y además con fines recreativos. El problema de contaminación por líquidos de balas compactadas es mucho menor que en vertederos controlados normales, mejorando al mismo tiempo las condiciones del vertedero en lo que se refiere a la proliferación de aves y roedores.

El coste total de la compactación es más elevado que el vertido tradicional de residuos sin compactar, pero ligeramente inferior si se compara con la incineración.

El sistema consiste básicamente en los siguientes componentes y etapas fundamentales:

- Tolva de recepción y alimentación.
- Prensa.
- Sistema de revestido de balas.
- Transportador de descarga.

7.3.1. Tolva de recepción y alimentación

Esta etapa es idéntica a la descrita en plantas de trituración, es decir, los camiones de recogida descargan directamente sobre una plataforma, desde la que los residuos son empujados por tractor con bulldozer a un alimentador de láminas metálicas, o bien la descarga se realiza sobre foso dotado con puente grúa.

Normalmente, las instalaciones de gran capacidad suelen disponer de una tolva de recepción con suficiente amplitud para almacenar los residuos de uno o dos días.

7.3.2. Prensa

La prensa empleada consta de un sistema de admisión al cual llegan los residuos a través de un alimentador de láminas, y otro que realiza las operaciones de prensado para producción de las balas.

Cuando la prensa funciona con sistema automático, el vertido de la tolva de admisión está sincronizado con el ciclo de prensado que inicia la fabricación de la bala.

El sistema de compresión consta de tres émbolos que realizan otras tantas etapas de prensado de la siguiente forma:

Al comienzo del ciclo del primer émbolo, que es horizontal, se extiende completamente hacia adelante; el segundo émbolo, vertical, se extiende hasta la posición inferior, y el tercer émbolo, también horizontal: se acciona para completar el ciclo. Posteriormente se abre una compuerta que da salida a la bala por medio del tercer émbolo, la puerta de salida se cierra y todos los émbolos vuelven a sus posiciones de origen en espera de un nuevo ciclo. Normalmente, se incorpora también un dispositivo que realiza el atado de la bala.

7.3.3. Sistema de revestido de balas

Es opcional y consiste, cuando se trata de recubrimiento con asfalto, en dos tanques; uno contiene asfalto caliente (230-25-ºC) y otro agua de enfriamiento. Un sistema de transporte provisto de mordazas, recoge las balas a la salida de la prensa y las sumerge primero en asfalto y después en el tanque que contiene agua. Seguidamente, se devuelve la bala al transportador de descarga.

Otras modalidades de revestimiento consisten en el empleo de hormigón o chapa metálica.

7.3.4. Transportador de descarga

Es un elemento también opcional, pero que ofrece grandes ventajas, a que en él pueden colocarse varias balas, aguardando su envío al lugar previsto de almacenamiento o la carga al vehículo que la transportará para su vertido.

8.1. INTRODUCCION

Existen fundamentalmente tres sistemas de evacuación directa de residuos urbanos sin tratar:

- Descarga bruta.
- Utilización directa en la agricultura.
- Vertido controlado.

8.2. DESCARGA BRUTA

Este método es el más rudimentario para la eliminación de residuos urbanos y consiste en verter las basuras en depresiones o cualquier otro tipo de lugares adecuados, sin ninguna clase de tratamiento anterior o posterior a dicho vertido. (Figura 5.8.1.).

Este sistema, como bien puede comprenderse, presenta un gran número de inconvenientes, puesto que representa un peligro evidente para la salud pública por la fermentación lenta y descontrolada de las basuras lo que convierte al vertedero en foco de infecciones cuyos portadores son las moscas y roedores que proliferan por doquier.

Además, por el mismo descontrol que se ha mencionado ya, se producen olores pestilentes y existe una probabilidad bastante elevada de que se produzcan peligrosos incendios en el seno de los residuos e incluso, corrimientos de las masas de basuras.

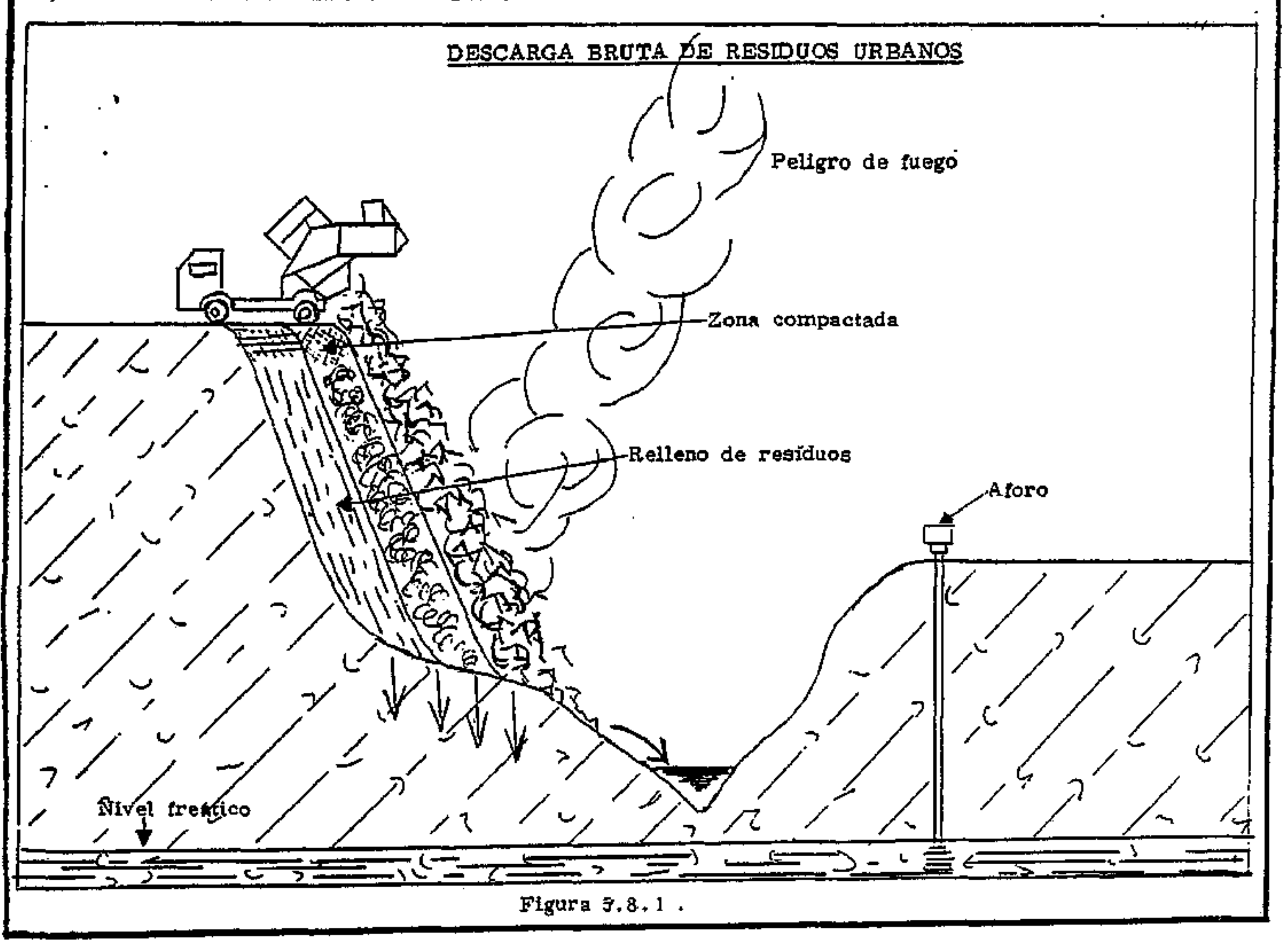


Figura 5.8.1.

8.3. UTILIZACION DIRECTA EN LA AGRICULTURA

En algunas ciudades con zonas agrícolas muy cercanas, parte de la basura urbana se aprovecha como fertilizando en su estado natural.

Sin embargo, un producto tan heterogéneo aporta no sólo materia orgánica, sino también cristales, plásticos y metales que pueden perjudicar al terreno e incluso, a la propia maquinaria agrícola.

Además, desde un punto de vista técnico-agronómico el sistema es muy imperfecto al existir un gran desequilibrio en la relación C/N de la composición de las basuras, lo que ejerce un efecto depresivo en los cultivos en lugar de activar su crecimiento y desarrollo, debiéndose efectuar fuertes abonados nitrogenados para conseguir el equilibrio necesario.

8.4. VERTIDO CONTROLADO. GENERALIDADES

A mediados del presente siglo y como consecuencia de los estudios científicos realizados sobre los procesos químicos que tienen lugar en la fermentación de las basuras se llega a la solución de eliminación de residuos urbanos por vertido controlado. (Figura 5.8.2..).

El emplazamiento ideal de un vertedero controlado es una depresión de cualquier forma y que requiera ser levantada hasta un nivel adecuado para su posterior utilización.

El método consiste en verter sucesivamente capas de basuras y material de relleno, con espesores adecuados, como podrá verse a continuación.

Para determinar lo adecuado de un terreno para su utilización para estos fines, se tienen en cuenta una serie de características entre las cuales se destaca la distancia al punto de recogida, los accesos, edificaciones próximas, servicios, capacidad, etc.

A continuación se describe someramente el proceso en sí.

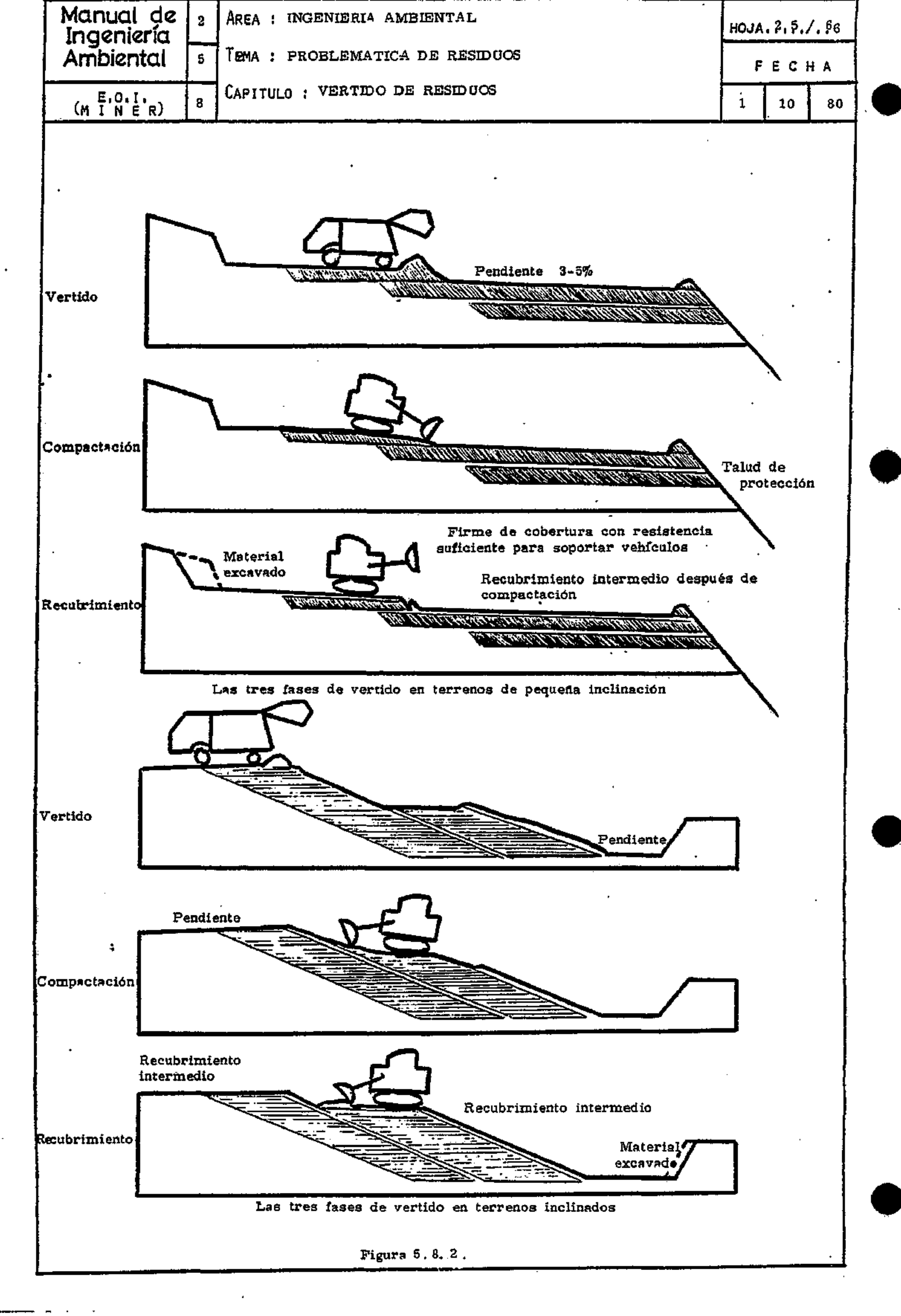
Se trata de una modalidad mejorada del antiguo vertedero. Existen fundamentalmente dos procedimientos de vertido controlado. El primero utiliza la fermentación aerobia, mientras que el segundo consta de una trituración, una compactación y una posterior fermentación anaerobia.

En el primer procedimiento, las basuras verdes no seleccionadas, se verterán sobre el terreno en capas de 1,50 m. a 2,50 m. de espesor. El espesor se limita para evitar una compresión excesiva que impida la entrada de aire al interior de la masa de basuras, lo que es totalmente necesario para que se produzca una fermentación de tipo aerobio.

Es necesario esperar que la fermentación haya terminado para poner otra capa encima, lo que se comprueba cuando la temperatura de la basura depositada baja a la temperatura normal del suelo.

Si las capas son muy gruesas, la fermentación es muy lenta y se requiere mayor extensión de vertedero.

Además, limitando el espesor a 2,50 m. la temperatura no se eleva demasiado durante la fermentación, lo que elimina riesgos de incendio espontáneo.



Las tres fases de vertido en terrenos de pequeña inclinación

Las tres fases de vertido en terrenos inclinados

Figura 5. 8. 2.

Si las capas son muy gruesas, la fermentación es muy lenta y se requiere mayor extensión de vertedero.

Además, limitando el espesor a 2,50 m. la temperatura no se eleva demasiado durante la fermentación, lo que elimina riesgos de incendio espontáneo.

Antes de las 72 horas de la descarga, la basura debe ser cubierta con tierra, cal o arena. La cobertura de 10 a 30 cm. evita la afluencia de moscas o roedores. En la figura 2.5.19., puede verse un vertido controlado de estas características.

El segundo procedimiento utiliza una trituración previa de las basuras. De esta forma, pueden suprimirse capas de cobertura intermedias, reemplazándolas por una cobertura final únicamente. Además, en este caso, se favorece la compactación con la consiguiente reducción de volumen, mejorando así el aprovechamiento del espacio disponible. La fermentación será de tipo anaerobio.

Se estudian seguidamente las ventajas e inconvenientes del proceso de vertido controlado. Entre las ventajas se pueden citar las siguientes:

- En aquellos casos en que se puede disponer de terreno a bajo precio, este método es el más económico.

- En todos los casos la inversión inicial es muy baja.

- Con este sistema, no quedan residuos aparentes, puesto que la totalidad de las basuras ha sido enterrada.

- Se obtiene, después de la fermentación, un terreno rico en humus que, al cabo de dos o tres años, puede ser utilizado como tierra rica en materia orgánica.

Como principales inconvenientes se tienen:

- Existe una gran dificultad en encontrar un terreno técnica, económica y públicamente (opinión pública) aceptable, especialmente en zonas próximas a urbanizaciones.

- Con este método no se recuperan los subproductos aprovechables.

- Si no existe una vigilancia muy rigurosa puede degenerar en un vertido libre.

- Se producen desprendimientos de metano.

- Se conservan bajo tierra restos no fermentables.

- El terreno llega a colmatarse, por lo que la superficie necesaria se incrementa considerablemente.

8.5. OPERACIONES BASICAS DE UN VERTIDO CONTROLADO

Un vertido controlado consta de tres operaciones básicas:

- Depósito del residuo en forma controlada en la zona preparada al efecto en el lugar elegido.

- Extensión/compactación de los residuos.

- Colocación de una capa de material de recubrimiento diario que oculte los residuos.

8.6. DEPOSITO DEL RESIDUO

Existen básicamente dos sistemas para el depósito del residuo:

- Zanjas.

Los residuos son colocados en zanjas construidas al efecto, recubriéndose diariamente con el terreno extraído. La profundidad de la zanja (máxima de 10-12 m.) será elegida en función de las características hidrogeológicas del lugar. La anchura mínima de la zanja será la que permita la maniobrabilidad de la maquinaria 6-7 metros. Si el material que se extrae de la parte posterior de la zanja sirve para recubrir los residuos que se colocan en la parte anterior, el sistema se denomina progresivo.

Cuando el material de recubrimiento se obtiene de una zanja colindante con la anterior, el sistema se denomina de corte y recubrimiento.

Es un método para vertederos pequeños horizontales o ligeramente onduladas.

- Area

Los residuos son colocados directamente sobre la superficie del terreno, liso o en depresiones naturales, colocándose capas de material impermeable naturales o artificiales en la base, si las condiciones hidrogeológicas lo requieren. Cualquier topografía es válida en principio para este tipo de vertido.

Los residuos depositados diariamente junto con el material de recubrimiento utilizado van formando celdas o células hasta igualar el terreno. El material de recubrimiento debe ser extraido del punto más cercano posible.

Existe la posibilidad de combinar los métodos de área y zanja. El material de recubrimiento en este sistema es extraido de una zanja colocada en el frente de trabajo. Los residuos son compactados sobre las pendientes y recubiertos con el material extraido de la zanja. El método se denomina de rampa.

8.7. EXTENSION Y COMPACTACION DE LOS RESIDUOS

La compactación consiste en aumentar la densidad aparente de los residuos por aplicación de una presión. La compactación se realiza posteriormente a su extensión en el terreno. La extensión del residuo se realiza desde una plataforma denominada playa de vertido, por medio de maquinaría, que pasa varias veces sobre el residuo. La densidad conseguida depende del número de pasadas realizadas, de la composición del residuo, el peso y tipo de maquinaria utilizada.

La densidad de los residuos a granel es de 200-300 Kg/m^3 con máquinas que apliquen una presión de

49.000 pascales (0,5 Kg/cm^2) se puede alcanzar los 400-500 Kg/m^3. Con compactadores especiales se pueden llegar a los 800-900 Kg/m^3.

8.8. COLOCACION DE UNA CAPA DE MATERIAL DE RECUBRIMIENTO

Es el factor social más aparente en la realización de un vertido controlado. El material de recubrimiento en un vertido se denomina diario, al colocado al final de cada jornada de travajo; intermedio, al colocado entre dos células ó celdas; y final al colocado en el último nivel de vertido.

Las razones técnicas radican en las diferentes funciones que debe cumplir, para su elecció , un material de recubrimiento, siendo por ejemplo excelente para impedir la entrada de agua en el residuo e inadecuado para permitir la salida de gases al exterior.

De forma global un material de recubrimiento debe cumplir las funciones siguientes:

- Prevenir la entrada de roedores, controlar las moscas, disminuir la entrada de humedad en el residuo, disminuir la salida de gases, dar buena apariencia, permitir la salida de gases en las situaciones en que se desea, etc.

Muchos materiales son capaces de realizar las funciones de un material de recubrimiento. Pequeñas diferencias de tamaño de grano y mineralógicas originan grandes diferencias en su comportamiento. El contenido de humedad durante la colocación, es un factor crítico que influye en la densidad, solidez y porosidad del material.

Los materiales arcillosos, cuando se secan pueden llegar a ser duros y tenaces como rocas y soportar tensiones altas. Cuando estos húmedos, son blandos, se hinchan y son de muy baja permeabilidad.

Los materiales arcillosos pueden absorber grandes cantidades de agua, pero al secarse, se fisuran dejando entrar el agua, salir a los gases, etc.

Los materiales más apropiados son grava, bien clasificada, con arena 10-15% y 5% finas; arena bien dosificada, con pequeña cantidad de finas.

Los suelos orgánicos y tobas no son utilizables por ser de difícil compactación.

8.9. CAPACIDAD DE UN VERTEDERO CONTROLADO

La vida útil de un terreno elegido como vertedero es función de su capacidad. La capacidad depende de la cantidad de residuo vertido, de su composición, de la densidad del residuo compactado, y del volumen de material de recubrimiento utilizado, de la profundidad o altura de la obra.

El material de recubrimiento utilizado es normalmente de 1/3 ó 1/5 del volumen del residuo vertido.

La densidad del residuo vertido, después de ser cubierto, puede calcularse por la fórmula:

$$D = \frac{\text{Peso residuo}}{\text{V (Mat. recub. + Residuo - V. Mat. recub.)}}$$

Densidad = Peso del residuo dividido por el volumen de material de recubrimiento y residuo menos el volumen del material de recubrimiento.

Existen básicamente 2 fórmulas para calcular el volumen del vertedero.

FORMULA 1:

$$V_{(m^3)} = \frac{365 \times P \times R}{d} \cdot M$$

P = población.

R = residuos Kg/hab/día

M = material de recubrimiento (se utilizan las constantes 1,25 ó 1,20 cuando las relaciones material de recubrimiento residuo son 1/4 ó 1/5 respectivamente).

d = densidad del residuo compactado.

FORMULA 2:

$$V_{(m^3)} = \frac{F \cdot R}{d} \left(1 - \frac{P}{100}\right)$$

F = factor relacionado con el material de recubrimiento: 1,33 para vertidos poco profundos y 1,17 para grandes vertederos.

P = porcentaje de reducción del volumen del residuo en el vertedero, varía de 0 a 70%.

R = residuos hab/año.

8.10. DATOS TOPOGRAFICOS

Un vertido controlado puede ocupar cualquier topografía: terrenos planos o poco ondulados, las depresiones naturales (barrancos, etc) o artificiales (canteras, minas abandonadas a cielo abierto) son topografías normalmente utilizadas, siempre que no estén sometidas a inundaciones.

8.11. DATOS CLIMATICOS

La lluvia, el viento y la temperatura afectan las operaciones de un vertido controlado.

La lluvia varía el grado de compactación de los suelos y residuos, produce efluentes en contacto con el residuo, encharca las zonas de vertido, y dificulta el funcionamiento de la maquinaria.

El viento propaga los residuos ligeros, humos, gases y olores fuera del perímetro de vertido. En zonas

secas, propaga el polvo por todas partes, es necesario colocar vallas, cercadas o árboles.

La temperatura incide en el residuo, varía el ritmo de su degradación y el caudal de producción de gases y efluentes.

8.12. DATOS GEOLOGICOS

Es necesario un estudio de las condiciones geológicas del lugar para conocer las limitaciones que se podrían imponer al vertido controlado.

El estudio de calidades del material de recubrimiento, zonas de menor erosión, zonas de derrumbe y estructuras, son datos imprescindibles.

Los datos geológicos obtenidos son básicos para realizar el estudio de las situaciones hidrogeológicas de la zona de vertido controlado.

8.13. DATOS HIDROGEOLOGICOS

La importancia de conocer el funcionamiento hidrogeológico de un terreno elegido como vertido controlado radica en la formación en lixiviados (estos lixiviados se producen cuando el residuo tiene más de un 35% de humedad, aproximadamente).

Entendemos por lixiviados a efluentes líquidos formados por la interacción de un líquido (agua) sobre un residuo sólido o a efluentes líquidos formados por la propia dinámica de descomposición del residuo.

El agua entra en contacto con el residuo y forma lixiviados por los caminos siguientes:

- Agua infiltrada a través del material de recubrimiento.

- Agua que inunda el muro del vertedero por elevación de los niveles freáticos subyacentes.

- Agua que circulando horizontalmente penetra por los lados del vertedero.

- Agua existente en la zona de vertidos o caída durante las operaciones de vertido.

Estos lixiviados están contaminados básicamente por sólidos disueltos (conductividad, metales pesados, salinidad, etc.), sólidos en suspensión y materia orgánica (DBO_5 y DQO), por lo que deben enviarse a una instalción de depuración de aguas residuales.

El Instituto Geológico y Minero de España está elaborando actualmente mapas de vertederos, mostrando los emplazamientos idóneos para dichos vertederos en las distintas provincias españolas, desde un punto de vista hidrogeológico, con el fin de minimizar la contaminación de acuíferos debida a lixiviados.

8.14. PRODUCCION DE GASES

La descomposición biológica de los residuos produce gas. Los residuos colocados en un vertido controla

do producen fundamentalmente anhídrico carbónico, metano y nitrógeno. Las reacciones teóricas que se producen en las zonas aerobia y anaerobia de un vertido controlado son, respectivamente:

$$(C_6H_{12}O_6)_n + 6n\,O_2 \xrightarrow{microorg.} 6n\ CO_2 + 6n\ H_2O + n\ (calorías)$$

$$(C_6H_{12}O_6)_n \xrightarrow{microorg.} 3_n\ (CO_2) + 3_n\ (CH_4) + {}_n\ (calorías)$$

El problema mayor en un vertido controlado es la formación de metano, existiendo datos teóricos, que se consideren bajos, de que 1 millón de Tm. de residuos, con un 20% de materia orgánica producen 35-40 millones de m^3 de metano.

Los riesgos de explosiones o contaminación del agua pueden ser evitados controlando el movimiento de los gases. El sistema más seguro consiste en dispersarlos en la atmósfera, impidiendo los movimientos laterales y/o a través del terreno. Se efectúa este control mediante tubos de ventilación, utilizando materiales permeables, o bien mediante barreras impermeables.

8.14.1. Tubos de ventilación

Colocados verticalmente a través de un material de recubrimiento relativamente impermeable y en los alrededores de los límites del vertedero, recogen los gases existentes. Es el sistema más económico, pero no puede asegurarse que parte de los gases migren a través del terreno.

8.14.2. Método permeable

Se controla el movimiento lateral del gas, usando un material más permeable que el circundante. Para ello se constituyen zanjas de grava con una profundidad que asegure toda la recogida del gas.

8.14.3. Método impermeable

Se utilizan barreras impermeables de arcilla, plástico y chapa fina de acero, que impiden a los gases circular lateralmente obligándolos a salir a través del material de recubrimiento.

8.15. ASENTAMIENTO DEL RESIDUO

Un vertido controlado se asienta o subside como consecuencia de la descomposición del residuo, del filtrado de finos, de las cargas sobre impuestos y por su propio peso.

La causa más significativa de este proceso es la descomposición del residuo, que está influenciado por la cantidad de agua existente en el residuo.

El asentamiento es tanto más lento, cuanto menor sea la cantidad de agua existente en el residuo.

Todos los vertidos controlados sufren asentamiento, que puede llegar a ser de un máximo de un 33%. El grado de asentamiento depende del tipo de residuo, de la relación residuo/material de recubrimiento y de la compactación realizada en la construcción.

El asentamiento puede producir fracturas en el material de recubrimiento, exponiendo los residuos al con-

tacto con el agua, ratas, salida de gas, etc.

El 80-90% del asentamiento total de un vertido controlado en los primeros años, 2-5 años.

La importancia del asentamiento, de un vertido controlado radica en la necesidad de conocerlo todo lo bien que sea posible, para planear tanto la utilización final del vertido controlado como para estudiar la construcción de edificios, cabañas, etc.

Se llama capacidad de soporte de un vertido controlado a la medida de su capacidad para soportar cimentaciones y mantenerlas intactas (Kg/cm^2).

Esta capacidad de soporte depende, en gran parte, del grado de compactación que pueda admitir el material de recubrimiento.

Se utilizan 3 tipos de material de recubrimiento:

- Diario	0.10-15 m.	0-7 días
- Intermedio	0,30 m.	7 días-1 año
- Final	0,60 m.	más de 1 año

8.16. USOS POTENCIALES DE UN VERTEDERO CONTROLADO AGOTADO

La mayor limitación a la utilización de un vertedero es el límite de capacidad de soporte, que limita la construcción de edificios, etc. Existen excepciones a esta norma.

Los usos son:

8.16.1. Recreativos y Espacios Cubiertos

Deben estar situados en las zonas cercanas a las poblaciones (no tendría sentido no hacerlo así). Son zonas de utilización intensiva (campos de tenis, futbol, descanso, etc.). Cuando están situados en zonas más alejadas pueden configurarse como campings, pic-nic, etc. Su utilización es lógicamente menor, por ser su acceso más dificultoso. Las topografías horizontales son indicadas para deportes, camping, etc.

La creación de espacios recreativos y de expansión puede ser acelerada mediante la operación de realizar el vertido controlado simultáneamente a la utilización del lugar. Las ventajas de este sistema, no son evidentemente económicas, pero sí de gran impacto en el vecindario. Así, mientras el vertido controlado sigue realizando una serie de actividades puede libremente realizarse: camping, mini-golf, go-kat, especial.

8.16.2. Agrícolas

Un vertido controlado puede ser transformado en una zona de pastos o cultivada. En estos últimos, de 0,30 a 0,60 m. de material impermeable (arcillas) son colocados en el techo del vertido y una caja adicional de suelo vegetal sobre ellas. También puede utilizarse para invernaderos.

8.17.3. Construcción de servicios públicos

Comprende edificios de una sola planta de fácil estructura del tipo: escuelas, iglesias, aparcamientos, campos de atletismo, etc.

8.18. MAQUINARIA EMPLEADA EN EL VERTIDO DE RESIDUOS SIN TRATAMIENTO PREVIO

Los equipos empleados en las operaciones de vertido varían con la cantidad de residuos a manejar, características del emplazamiento y método de vertido empleado.

En general, las funciones a realizar por los equipos pueden encuadrarse en tres categorías:

- Las directamente relacionadas con el extendido y compactado de los residuos.

- Las relacionadas con el manejo de material de cubierta.

- Las funciones de tipo auxiliar.

Los equipos empleados están en la mayoría de los casos dentro de dos grandes grupos:

- Máquinas estandar, tipo tractor.

- Máquinas especializadas, tales como dragalinas, traíllas y compactadoras autopropulsadas.

8.19. TRACTORES

Existen dos tipos básicos de tractores -de oruga y los que van provistos de ruedas de goma- cada uno de ellos puede incorporar diferentes equipos de acoplamiento frontal.

La ventaja de la máquina sobre ruedas a la oruga estriba en su mayor velocidad de maniobra, lo que la hace más apropiada cuando se trata de desplazamiento a cierta distancia. Los largos recorridos producirían excesivo desgasta en el mecanismo de cadenas.

La máquina sobre orugas ofrece por el contrario muy buena tracción por la gran superficie en contacto con el terreno. Su diseño está basado en una baja presión, ya que todo el peso está distribuido sobre una gran superficie.

El tractor con ruedas de goma se usa normalmente con pala frontal, pero puede igualmente incorporar empujador o cuchara de uso múltiple.

El tractor de neumáticos se mueve más rápido que el de orugas y puede usarse para otras tareas tales como quitar nieve; tiene mejor capacidad de compactación ya que la carga se reparte en cuatro puntos y puede transportar material para cubierta economicamente hasta distancias de 200 m.

En contrapartida tiene una tracción limitada sobre nieve, hielo y fango; su estabilidad en pendientes es restringida y su capacidad para excavar y nivelar es baja, particularmente en terrenos duros.

8.20. DRAGALINAS

La dragalina es una máquina basada en la grúa, que fundamentalmente realiza las operaciones de levantamiento y traslado de objetos. Está dotada de una larga pluma con cables, que lleva incorporada en su extremo un balde o cucharón. Este balde se hinca al tirar de él hacia la máquina, lo que da como resultado que pueda excavar en todo tipo de terreno, incluso estando anegados.

En condiciones de trabajo adversas para un tractor u otra clase de máquina, por encharcamiento del vertedero, puede hacerse necesario el empleo de una dragalina, la cual moviéndose desde terreno firme, excava bajo el agua proporcionando así el material de cubierta necesario.

8.21. TRAILLAS

En ocasiones, cuando es necesario aportar tierras desde distancias entre 50 y 200-300 m. se emplea el equipo llamado trailla.

Las traillas son máquinas que sirven para excavar, cargar, transportar y distribuir la tierra. Existen varios tipos de traillas, pero en esencia consta de una caja que puede subir o bajar, provista de una cuchilla para excavar. La caja lleva dos compuertas, una delantera con movimiento de giro que sirve para retener el material durante el transporte, y otra trasera que lo empuja durante la descarga.

Las traillas se arrastran por tractores de orugas o por tractores de cuatro o dos ruedas. En terrenos muy duros puede emplearse un tractor empujando y otro tirando.

8.22. COMPACTADORAS AUTOPROPULSADAS

El empleo de máquinas compactadoras ha supuesto un avance en el tratamiento de los residuos mediante vertido controlado, ya que las mismas ofrecen notables ventajas en comparación con las anteriormente descritas, sobre todo cuando se trata de acondicionar en el vertedero elementos voluminosos y de gran consistencia, o desechos procedentes de demolición.

Dentro de estas máquinas compactadoras existen dos tipos perfectamente diferenciados:

- Máquinas dotadas de cuatro ruedas metálicas, provistas de tacos o láminas de distinto perfil.

- Máquinas dotadas de dos tambores o rodillos continuos de una sola pieza, provistas de dientes o pata de cabra.

Los detalles de diseño más significativos de las máquinas reseñadas en primer lugar son:

- Ruedas metálicas que llevan en cada caso y según el fabricante, tacos o láminas metálicas de distintos perfiles que comprimen y desgarran la basura.

- Hoja frontal niveladora y empujadora.

- Transmisión mediante convertiror de par.

- Cabina de operador climatizada.

- Dirección articulada hidráulica.

- Sistema de propulsión dotado de 3 ó 4 velocidades hacia adelante y hacia atrás.

- Potencia de motor mínima de 150 CV.

- Peso mínimo de 15 a 17 Tm.

Las máquinas compactadoras señaladas en segundo lugar, es decir aquellas que disponen de dos rodillos de una sola pieza provistos de dientes, ofrecen indudables ventajas sobre las que disponen de ruedas metálicas.

En primer lugar, por su elevado peso (más de 20 Tm.), ofrece un gran poder de compactación, con lo que las reducciones de volumen conseguidas son de 1:3, 1:4.

La presión de los dientes en el punto de contacto es de más de 100 Kg./cm^2.

Todas las partes vitales están suficientemente protegidas y a una altura tal que no ofrecen problemas para cualquier tipo de residuos.

Dispone de velocidad continua hacia adelante y atrás y la compactación la realiza en ambos sentidos de marcha.

Los movimientos se realizan a través de sistemas hidráulicos.

Los rodillos se mueven por un sistema de cadenas y ruedas dentadas a través de un reductor de engranajes que es atacado por motores hidráulicos.

Los cilindros compactadores permiten al no tener zonas muertas, una compactación más eficaz.

El poder de reducción es tal que pueden compactarse sin problemas los denominados monstruos (neveras, muebles, automóviles, etc.).

9.1. INTRODUCCION

Se encuentran actualmente muy en boga los procesos de aprovechamiento con los que se persigue, en unos casos, la recuperación directa de ciertas fracciones -metales, papel, vidrio, plástico- que tras determinadas purificaciones y transformaciones simples podrán ser reutilizadas o recicladas en forma sustancialmente similar a la original. Para otras fracciones, (el resto de los materiales orgánicos) es preciso recurrir, con vistas a su aprovechamiento, a auténticas transformaciones, por vía química o bioquímica, para obtener otros productos distintos a los de partida p. e. gases y líquidos combustibles, compuestos orgánicos, compost, piensos para ganado, etc.

A efectos de aprovechamiento se pueden agrupar los componentes de los residuos en tres categorías:

- Los recuperables, -metales, papel, vidrio, plástico-, que pueden suponer en España de un 30 a un 40%

- Los recuperables transformables, -papel y plásticos fundamentalmente-, que suponen en nuestro país del 20 al 30 %.

- Los únicamente transformables, -compuestos por el resto de la materia orgánica-, en gran parte fermentable, que alcanzan en España hasta un 60%.

Cada una de estas grandes fracciones pueden ser objeto de diversas técnicas de aprovechamiento: principalmente de carácter físico para los procesos de recuperación, carácter químico para los de transformación -combustión, pirólisis, hidrogenación, oxidación e hidrólisis- y de caracter bioquímico: compost digestión anaerobia y degradación biológica.

Puede decirse que las tendencias actuales en los métodos de tratamiento se basan en dos principios fundamentales:

- El primero consiste en la separación y concentración selectiva, preliminar, de determinadas fracciones para la posterior recuperación o transformación en condiciones óptimas.

- El segundo principio es el caracter integral de los procesos pues en ellos se tiende, cada día más, a la combinación de técnicas de forma que se aprovechen la mayor cantidad posible de las fracciones.

En España, en la actualidad, se practica un aprovechamiento parcial de basuras urbanas. Las dos fracciones de mayor grado de aprovechamiento en la actualidad son las siguientes:

- papel y cartón: Se realiza una recogida selectiva de estos materiales, que posteriormente son tratados en papeleras (en algunos casos llegan a tratarse esta materia prima para la fabricación de cartonajes y papel de baja calidad). Existe un mercado para este producto que viene pagándose en cifras que oscilan entre las 2.000 y 5.000 pts/t.

- envases estañados: Existen industrias que se dedican al desestañado de botes.

Una cifra entre 2.500 y 4.500 pts/t. está dentro de las que actualmente se pagan en el mercado por este tipo de productos.

Sin embargo, no existe en España a nivel industrial ninguna instalación que realice el aprovechamiento integral de los residuos urbanos.

ENADIMSA ha puesto a punto en nuestro país uno de los procesos de mayor futuro en el campo del aprovechamiento integral de residuos urbanos. Con este proceso existen en la actualidad (independientemente de la instalación piloto de la propia ENADIMSA en Madrid) las siguientes realizaciones:

- Planta de tratamiento de basuras urbanas con aprovechamiento integral de las mismas en Tournan en Brie (Francia). Capacidad nominal: 15t/h - 250t/día - 90.000t/año. En funcionamiento (1977).

- Planta de tratamiento de basuras urbanas con aprovechamiento integral de las mismas en Upsala (Suecia). Capacidad nominal: 30t/h - 240t/día - 72.000t/año. En construcción (1978).

- Planta de tratamiento de basuras urbanas con aprovechamiento integral de las mismas en Mataró (Barcelona). Capacidad nominal: 10t/h - 240t/día - 63.000t/año. En periodo de ingeniería (1978).

Se describen a continuación los distintos procesos de reciclado y de separación y concentración selectiva.

9.2. RECICLADO

El reciclado es el concepto que implica la devolución al ciclo de consumo de materiales acabados, intermedios o subproductos que se generan en el ciclo habitual de la transformación de recursos naturales en bienes de consumo. Se consideran dos variantes.

9.2.1. Reciclado directo

El aprovechamiento directo de materiales recuperados sin sufrir alteraciones importantes en su estado físico, composición química o estado biológico (Figura 5.9.1.).

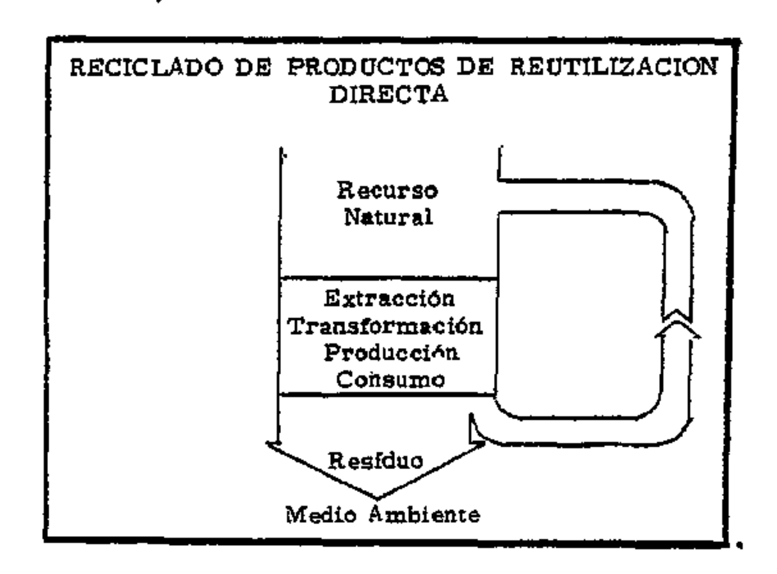


Figura 5.9.1.

Ejemplos:

- Utilización de los metales recuperados.
- Utilización de calcín (vidrio recuperado) en la industria cristalera.
- Utilización de papel recuperado para fabricar pasta de papel.
- Reutilización de plásticos para recuperarlos.

9.2.2. Reciclado indirecto

Es el aprovechamiento de los materiales recuperados sometidos a una transformación, permitiendo su utilización en forma distinta a la original. (Figura 5.9.2.).

Ejemplos:

- Procesos que no implican cambios de estado físico:

. Utilización del vidrio como material de relleno u otro tipo de materiales de construcción.
. Utilización del papel recuperado y destinado a la fabricación de paneles aislantes para uso en construcción.

- Procesos que implican cambios físicos y químicos:

. Transformación de los residuos en abonos orgánicos.
. Incineración con recuperación de calor.
. Incineración con recuperación de materiales contenidos en las escorias.

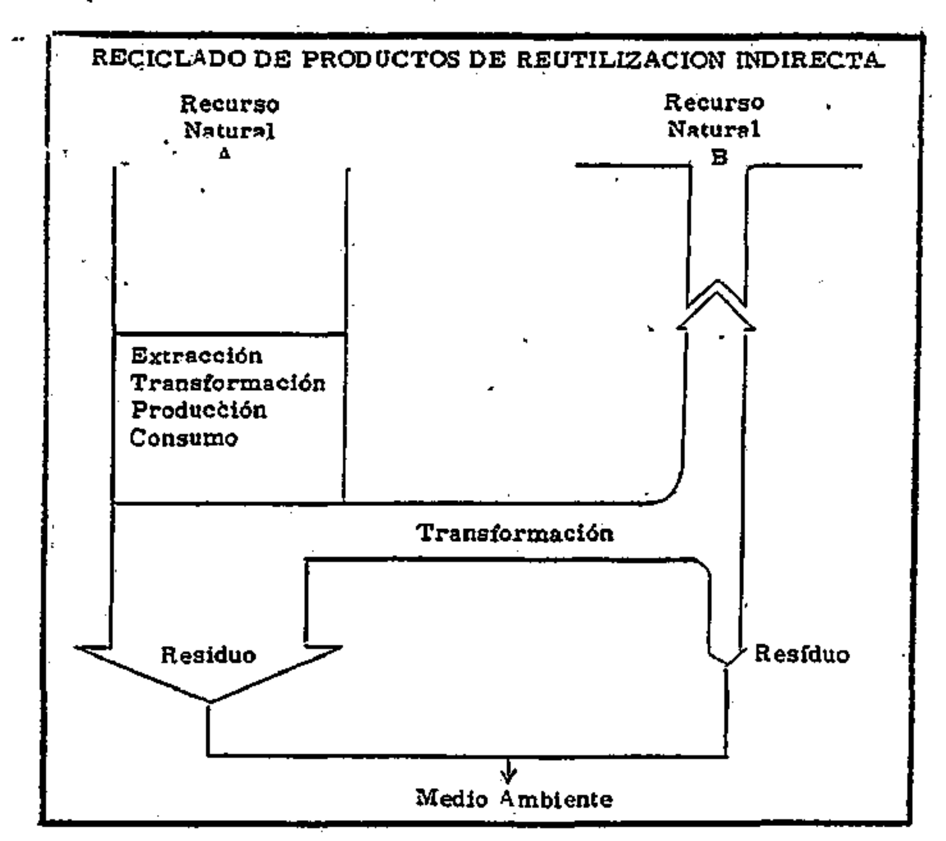


Figura 5.9.2.

. Procesos pirolíticos.
. Procesos de biodegradación.

La tendencia actual, se inclina a definir como reciclado el caso de aprovechamiento indirecto.

Todos los métodos de reciclado buscan una clasificación selectiva y un aprovechamiento posterior, directo o indirecto, de los productos resultantes. En el momento actual diversas técnicas están en vías de investigación, de aplicación experimental o semi-industrial y algunas de ellas completamente industrializadas.

9.3. CLASIFICACION EN ORIGEN

El método de clasificación en origen consiste en la recogida selectiva de distintos componentes de las basuras urbanas que previamente se han separado a nivel de cada hogar.

Este hecho, se realiza en numerosos núcleos urbanos con respecto a residuos domésticos convencionales y residuos voluminosos. Se hace notar el alto contenido en metales de los residuos voluminosos.

La recogida selectiva de los componentes de las basuras urbanas convencionales se ha ensayado, en general, de modo experimental. Fundamentalmente las fracciones que se han clasificado en origen, son las siguientes:

- Papel y cartón.
- Vidrio y envases metálicos.
- Envases de aluminio.

El mayor problema de este sistema es que es preciso efectuar una importante campaña de mentalización pública para que pueda ser realmente efectivo.

9.4. CLASIFICACION SELECTIVA

Saliendo ya de estos sistemas un tanto especiales se pasa a describir el conjunto de operaciones que hacen posible la clasificación mecanizada de los residuos. Las técnicas que se aplican son clásicas de tratamientos mineralúrgicos aplicados a un material tan especial como son los residuos urbanos.

Las técnicas de concentración de componentes se basan principalmente, en las propiedades físicas de los mismos.

En sí, estos procesos, disponen fundamentalmente de dos tipos de operaciones:

9.4.1. Operaciones de trituración

Pueden realizarse mediante el empleo de:

- Molinos de martillos.

- Molinos de cadenas.
- Molinos de impactos.
- Molinos de ruedas dentadas.
- Pulpers.

9.4.2. <u>Operaciones de separación</u>

Existen distintos tipos de separaciones:

- Separación por tamaños.

Suele realizarse después de operaciones de trituración.

Como los materiales a tratar son tan heterogéneos, evidentemente, no se comportan de la misma forma frente a una trituración. Así al hacer una clasificación granulométrica, después de una trituración, en las diferentes fracciones obtenidas se reflejan las características de los distintos componentes como pueden ser dureza, fragilidad, ductilidad, humedad y otros.

Un ejemplo muy simple sería la separación de vidrio y papel después de una trituración en un molino de impactos.

- Separación balística.

Es una separación que se basa en la diferente inercia, por tener distinta masa por unidad de volumen, de diversos materiales, ante un lanzamiento por impulsión de fuerzas equivalentes. En esta técnica se presentan importantes fenómenos por efectos de forma de los componentes que hacen complicada su aplicación.

Ejemplo: Separación de metales o vidrio de materia orgánica.

- Separación por densidades:

Se trata de utilizar un fluido viscoso en movimiento o estático en el que se estratifiquen los componentes ordenados por densidades para proceder en continuo o en discontinuo a su extracción.

Ejemplo: Utilización para la separación de metales pesados de metales ligeros utilizando un medio denso adecuado.

- Separación magnética:

Separación de materiales por su respuesta al campo magnético.

Ejemplo: Separación de chatarra magnética.

- Separación electrostática:

Separación de materiales por su respuesta a un campo eléctrico.

Ejemplo: Separación plástico-papel.

- Separación calorimétrica.

Separación de materiales por transparencia y reflexión.

Ejemplo: Separación de vidrio mezclado en transparente y coloreado.

- Separación por vía química.

Se trata de la separación de materiales basándose en sus propiedades químicas.

Ejemplo: Combustión de residuos urbanos con el consiguiente enriquecimiento de inertes -metales- en las escorias procedentes de la incineración.

9.5. METODOS Y EQUIPOS DE CLASIFICACION

9.5.1. Clasificación manual

La separación manual entre a formar parte de numerosas instalaciones de compostaje. Consiste en unas cintas de estrio manual donde una serie de personas van separando distintos tipos de materiales.

9.5.2. Clasificación por tamaño de partículas

Consiste en la separación mecánica utilizando cribas vibratorias o giratorias -trómeles.

9.5.3. Clasificacion por densidades

- Clasificación por flotación natural o por contra corriente de agua -elutriación.

- Clasificación por medios densos.

- Clasificación por mesas vibratorias.

- Clasificación por cribas hidráulicas.

- Clasificación en contracorriente o en corrientes paralelas de aire -separación neumática.

- Clasificación por métodos balísticos.

9.5.4. Clasificación por propiedades magnéticas

- Separadores de banda.

- Separadores de tambor.

9.6. DISTINTOS PROCESOS DE SEPARACION Y CONCENTRACION SELECTIVA DE RESIDUOS URBANOS

Existen dos conceptos según los diferentes procesos de tratamiento.

Los procesos de tipo "front end". Estos son los procesos que tratan los residuos en bruto, tal y como se encuentran después de la recogida.

El sistema opuesto, procesos de tipo "bach end" son aquellos que tratan de recuperar materiales de los residuos que han sido procesados.

Ejemplo: Recuperación de metales de las plantas de incineración de residuos.

Entre los procesos del tipo "Front end" pueden destacarse los siguientes:

9.6.1. Sistema desarrollado por el United States Bureau of Mines (EE. UU.)

Consiste en una compleja separación neumática acompañada de separación mecánica, magnética, electrostática y cribas hidráulicas con la que se consigue recuperar de los residuos las siguientes fracciones:

. Fracción materiales ligeros (papel + plástico).
. Fracción magnética.
. Fracción metales no magnéticos, principalmente aluminio.
. Fracción vidrio.
. Fracción fermentables.

Una interpretación industrial de este proceso se está llevando a cabo en Monroe Country, Nueva York, por la Raytheon Service Company. Se trata de una instalación que actualmente está en fase de montaje de una planta de 1.800 t/día de capacidad.

En la Figura 5. 9 3. se muestra el esquema de tratamiento de la planta piloto diseñada por el Bureau of Mines de los Estados Unidos, e instalada en College Park (Maryland). Trata 800 kilogramos por hora, empleando principalmente métodos de clasificación neumática, selección óptica, separación magnética y electrostática. Las fracciones que separa son: metales magnéticos para recuperación de estaño; metales pesados para refino; aluminio; cobre-cinc; vidrio verde, incoloro, y ambarino; vidrio fino; plásticos y papel.

Tras una molienda primaria, mediante un separador magnético de cinta, se recuperan los metales magnéticos para el aprovechamiento de los metales férreos y la recuperación del estaño. De la fracción no magnética se liberan a su vez el vidrio y los metales pesados. Ambas fracciones se separan tras una nueva molienda, por medio de una criba vibratoria. El concentrado de metales pesados constituye ya un producto comercial que se puede someter a posteriores procesos de refino. La fracción vidrio pasa a un clasificador óptico obteniéndose concentrados de vidrio incoloro, verde y ambarino. La fracción ligera del primer clasificador pasará a una nueva molienda y a un clasificador neumático secundario. Por medio de una mesa neumática y una cuba hidráulica se concentran el Al y el Cu-Zn. Un separador electrostático permite, finalmente, liberar el papel del plástico.

Han sido ya realizados por el U.S.B.M. ensayos positivos de posterior separación de las diferentes variedades de plásticos a escala semi industrial. El procedimiento fundamental utilizado ha sido el de medios densos, obteniéndose fracciones bastante limpias de polietileno, polipropileno, poliestireno y cloruro de polivinilo, con lo que se abre un interesante camino para el reciclado de los plásticos de caracter termoplástico.

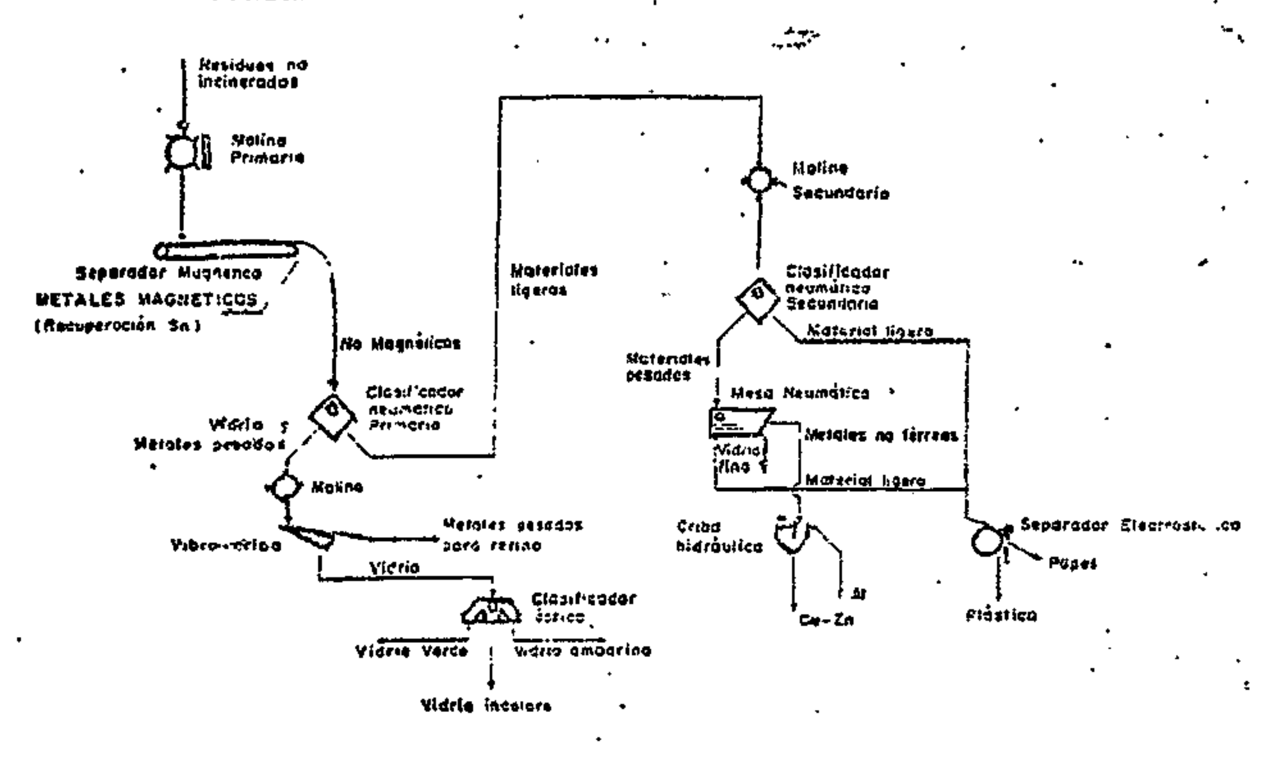


Figura. 5.9.3

9.6.2. <u>Sistema desarrollado por el National Center for Resource Recovery System (EE.UU.)</u>

Consiste en separar selectivamente los mismos componentes que en el caso anterior por un proceso ligeramente diferente.

Se encuentra en estudio instalar hasta 12 plantas de 500 t/día dentro de un programa de explotación industrial.

9.6.3. <u>Black Clawson System (EE.UU)</u>

Este proceso trata del reciclado por vía húmeda de los residuos urbanos en bruto.

En la actualidad funciona una planta piloto industrial de 150 t/día que fue puesta en marcha en 1971.

- En Europa se distinguen los siguientes procesos desarrollados por:

. Warren Spring Laboratories (Inglaterra).

. S.V.A. Stichting Verwijdering Afvaltoffe (Instituto para el tratamiento de residuos, Holanda).

. AB Swenska-Flakfabriken (Suecia).

. Krauss Maffei (República Federal Alemana).

. Bureau de recherches geologiques et minières-BRGM (Francia).

. De Bartolomeis (Italia).

. SARR (Societa Agricola Recuperaro Residui) (Italia).

En general todos ellos se encuentran a nivel de instalación piloto y en proyectos de instalaciones operativas industrialmente a corto plazo.

Por el momento el único proceso de reciclado en Europa en marcha industrial es el de las plantas de Roma operadas por la Sociedad SARR (1968).

- En España, la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A. (ENADIMSA) ha desarrollado también uno de los procesos "front end" de mayor futuro dentro del campo del aprovechamiento de residuos urbanos.

Para el desarrollo de este proceso ENADIMSA construyó una instalación piloto situada en las afueras de la ciudad de Madrid.

Los residuos urbanos que se tratan en esta instalación piloto proceden de distintas zonas de Madrid y una idea de su composición es la indicada en la Tabla 5.9.1 .

El esquema de tratamiento utilizado por ENADIMSA es el indicado en la Figura 5.9.4.1. Como puede comprobarse, se trata de una instalación de separación neumática, acompañado de las operaciones magnéticas y mecánicas complementarias.

La planta piloto tiene una capacidad de 10 t/h en su conjunto, si bien algunos aparatos disponen de mayor capacidad lo que resulta obligado teniendo en cuenta el volumen de los materiales (bolsas, sacos, cajas y otros objetos) a tratar.

Se inicia el proceso con la descarga del material -residuos urbanos en bruto- en una tolva/plataforma, donde, por un sistema de cintas, se alimenta un molino de cadenas. Este consta de una carcasa que lleva alojados dos ejes provistos de cadenas girando en sentidos opuestos.

Este molino tiene por misión desgarrar y abrir las bolsas de plástico, en las que convencionalmente se envasan residuos, y reducir los materiales más voluminosos, troceando únicamente los componentes frágiles, tales como vidrio, escorias y materiales cerámicos.

A la salida de este molino existe una captación neumática donde se consigue separar una fracción ligera que es conducida por tansporte neumático a un ciclón decantador. Se puede estimar que la recuperación de es-

COMPOSICION MEDIA DE LOS RESIDUOS URBANOS EN MADRID

COMPONENTES	% SOBRE BASE HUMEDA	TIPO	% ACUMULADO
METALES	2,5- 6	NO COMBUSTIBLE	7 -22
VIDRIO	2,5-10		
CENIZAS E INERTES	2 - 6		
ORGANICOS	30 -60	FERMENTABLE	30 -60
CARTON Y PAPEL	15 -30	COMBUSTIBLE	19,5-51
PLASTICOS	3 -12		
TEXTILES	1,2- 3		
MADERA	0,1- 4		
GOMAS	0,1- 4		
CUEROS	0,1- 1		

HUMEDAD 30-50%

PESO ESPECIFICO .... 0,1-0,2 t/m^3

Tabla . 5.9.1

ta fracción ligera que es conducida por transporte neumático a un ciclón decantador. Se puede estimar que la recuperación de esta fracción ligera es del orden del 15-25% en peso y su composición:

70% Papel, cartón.
15% Plásticos.
5% Textiles.
10% Varios (finos).

Su humedad es del 15-30%; Poder calorífico 3.000 Kcal/Kg.

El flujo del material no absorbido por la captación neumática es sometido a una clasificación mecánica por medio de una criba giratoria de 65 mm. de luz de malla.

Los tamaños superiores a 65 mm. se someten a separación magnética por medio de un separador tipo Over-Band convencional. Este producto magnético mayor de 65 mm. supone del 3 al 5% de la alimentación y su composición es la siguiente:

80% Envases estañados.
10% Hierro masivo.
10% No magnéticos.

El rechazo de esta separación magnética es lo que denominamos material incinerable, supone del 10 al 15% de la alimentación y su composición es la siguiente:

20% Plásticos.
30% Papel y cartón.
10% Textiles.
40% Varios (Gomas, cueros, maderas, metales y otros).

Los menores de 65 mm. se someten a clasificación magnética mediante un separador magnético de tambor. La fracción magnética recuperada supone del 1 al 2% de la alimentación y su composición es la siguiente:

50% Chapas de botellas.
40% Hierro masivo.
10% Varios.

El resto del material, que contiene la materia orgánica y el vidrio, siguen el proceso, sometiéndose a otro tamizado en una criba giratoria de 15 mm. de luz.

El producto comprendido entre 65 y 15 mm. se denomina material orgánico mayor de 15 mm. y supone de un 40 a 60% de la alimentación. Su composición es la siguiente:

90% Orgánicos fermentables.
5% Plásticos.
5% Varios.

El producto menor de 15 mm. se somete a una clasificación gavimétrica en una criba hidráulica en la que se concentran dos productos:

- Inorgánicos menores de 15 mm. 3-6% de la alimentación. Compuesto por:

50% Vidrio.
10% Metales.
40% Cerámicas, escorias y varios.

- Orgánicos menores de 15 mm. 15-20% de la alimentación. Compuesto por:

90% Orgánicos fermentables.
5% Plásticos y varios.

Entre los procesos del tipo "back-end", el proceso más típico es la recuperación de materiales de las escorias de incineración de los resíduos urbanos, basándose en procesos típicamente mineralúrgicos.

En efecto, un residuo urbano que presenta especial interés es el de las instalaciones de incineración: supone del 20 al 30% en peso de la cantidad de basuras incineradas. En la Tabla 2.5.5. siguiente puede observarse la composición de los resíduos de incineración.

Los productos a recuperar son los siguientes:

- metales férreos -metales magnéticos-.
- metales no magnéticos pesados -Cu, Zn, Pb-.

- metales no magnéticos ligeros -Al-.
- Vidrio.
- Materiales cerámicos.

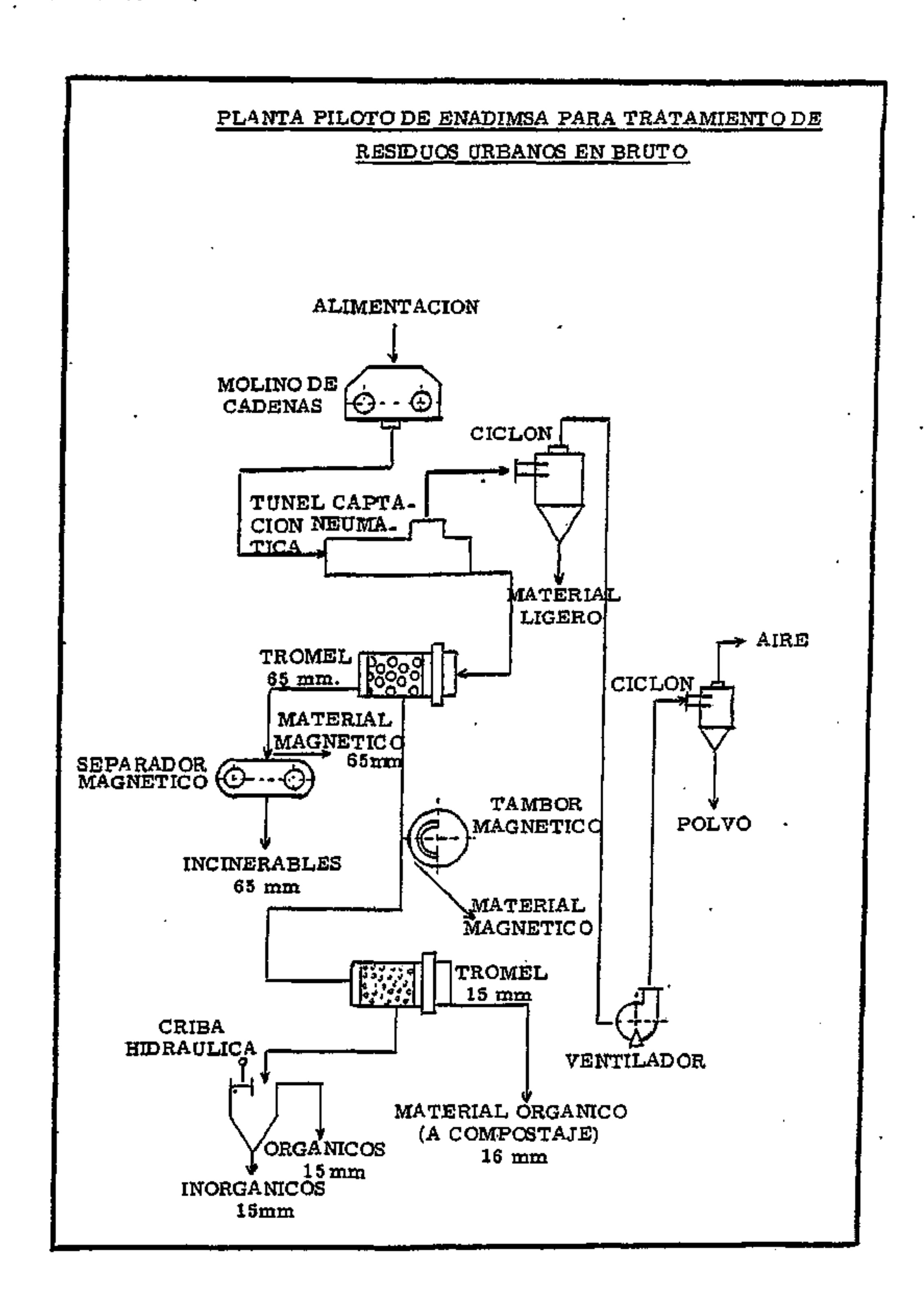


Figura 5.9.4 .

COMPOSICION DE LOS RESIDUOS DE INCINERACION

COMPONENTES	PORCENTAJE
Hierro masivo y alambres	3
Latas	13,6
Metales férreos	19,9
Metales no férreos	2,8
Vidrio	49,6
Cenizas	17,1

Tabla 5.9.2.

La investigación más avanzada en este tema es la siguiente:

9.6.3.1. Proceso del United States Bureau of Mines (EE. UU)

Consiste en una serie de trituraciones, clasificaciones mecánicas, separaciones magnéticas, vía húmeda y flotación. En Europa destacan los trabajos de Warren Spring Laboratories (Inglaterra), Bureau de Recherches Geologiques et Minieres (Francia) y la Universidad de Delft (Holanda).

En la Figura 5.9.5 siguiente se incluye el esquema de proceso del tratamiento de residuos de incineración (U.S.B.M.).

Los productos obtenidos son:

- Metales férreos.
- Fracción de metales pesados, constituida fundamentalmente por un 50% de cobre y un 34% de cinc.
- Vidrio incoloro y coloreado.
- Rechazo que solamente supone el 17% del peso inicial.

En los EE.UU., se ha construído ya alguna planta industrial de este tipo (Estado de Massachussets, etc.) y, en Francia, el BRGM dispone de una planta piloto de 800 Kg/hora, instalada en Orléans. Se planea la construcción de una planta más elaborada de segunda generación.

La acción combinada de la incineración y de este método de aprovechamiento da lugar a que la cantidad de material que hay que eliminar se reduzca a una proporción inferior al 5% en peso y al 1% en volumen.

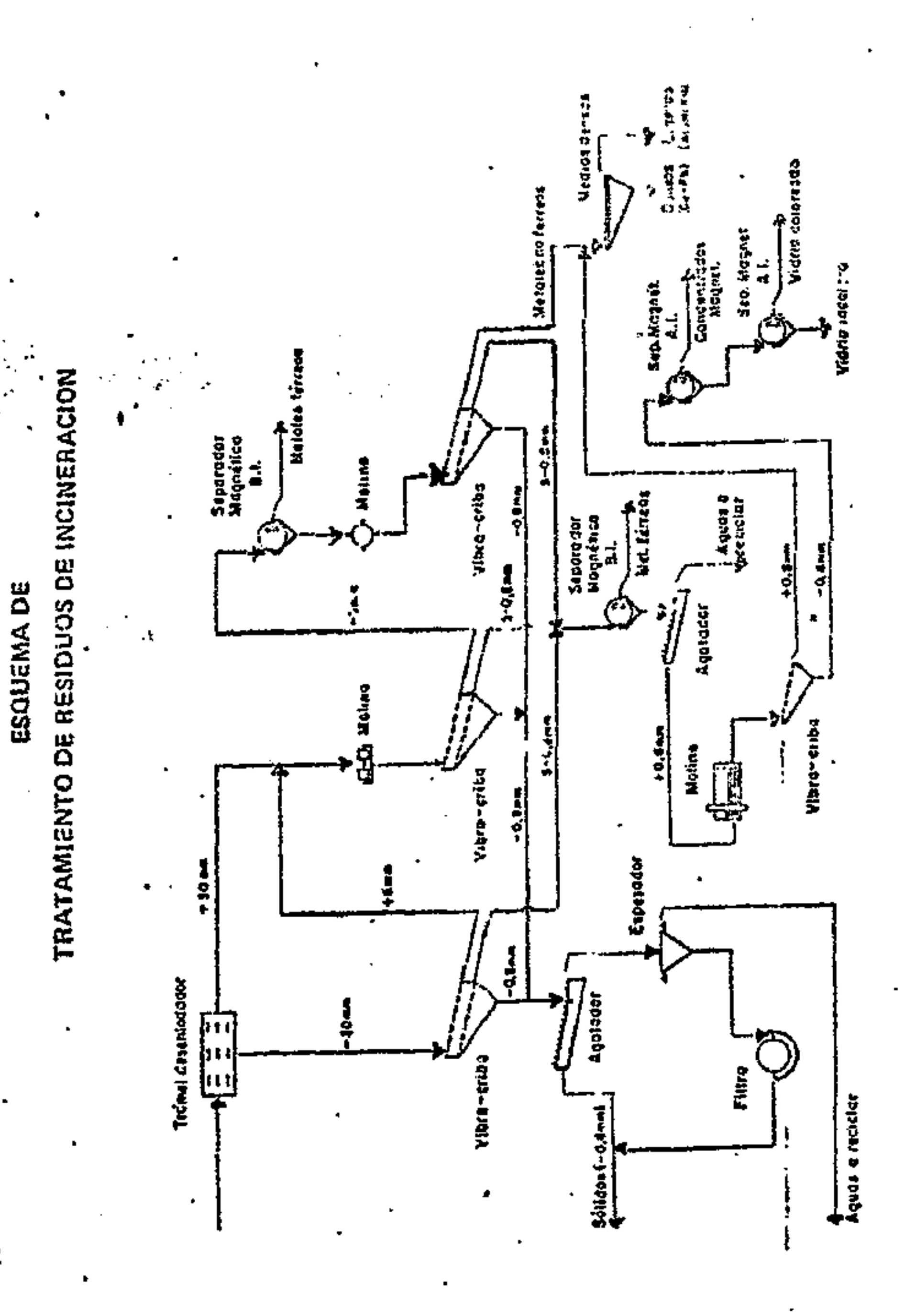

ESQUEMA DE
TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE INCINERACION
Vibro-criba
Molino
Agotador
Espesador
Filtro
Metales férreos
Vidrio coloreado
Aguas a reciclar

Figura. 5.9.5

9.7. TECNICAS DE RECUPERACION DE RECURSOS A PARTIR DE CONCENTRADOS

Los concentrados obtenidos (metales, vidrio, papel, caucho, plástico y materiales textiles), podrán proceder de las anteriores operaciones de separación y concentración selectiva o, directamente de determinados residuos industriales y de centros de recogida selectiva.

La recuperación final de estos productos para su nueva utilización, exige operaciones complementarias de afino, características de los respectivos sectores industriales y, en particular, de la industria de materiales secundarios.

Es de desear que se alcance, en el campo de la recuperación de los metales, una aplicación más amplia de la tecnología de la metalurgia extractiva. Los procedimientos mineralúrgicos constituyen una ayuda vital para la recuperación de materiales secundarios. Los métodos pirometalúrgicos son de utilización muy frecuente. Sin embargo, las técnicas hidrometalúrgicas (que incluyen el afinado químico, la lixiviación y la electrolisis) no han entrado en el campo del afino de fracciones metálicas con la misma intensidad que los métodos pirometalúrgicos. La aplicación más común de la hidrometalurgia tiene lugar en el desestañado y en la obtención de determinados productos químicos.

9.8. SUBPRODUCTOS RECUPERABLES Y COMERCIALIZACION DE LOS MISMOS

Como ya se ha indicado anteriormente, se obtienen subproductos comercializables a partir de un material que, en principio, tenía valor negativo.

A título de ejemplo, pueden indicarse los precios que alcanzan estos productos en el mercado de reventa (precios de diciembre de 1976).

Aluminio	15.000	- 25.000	pts/t
Envases estañados	2.500	- 3.000	pts/t
Cinc	15.000	- 20.000	pts/t
Cobre	70.000	- 75.000	pts/t
Chatarra de hierro	3.500	- 4.000	pts/t
Plomo	23.000	- 25.000	pts/t
Papel y cartón	1.500	- 2.000	pts/t
Plásticos	--	--	Muy variable según las clases
Vidrio	400	- 1.000	pts/t
Compost	300	- 500	pts/t

En la Tabla 5.9.3. se indica una estimación del valor global (en pesetas de 1976) de los productos recuperados a partir de las basuras urbanas en España, para el año 1977.

VALOR GLOBAL DE LOS PRODUCTOS RECUPERADOS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS EN ESPAÑA (PESETAS 1976)

	Recuperación %	Producto vendible 10^3 t	Mínimo	Máximo	TOTAL 10^6 ptas.
Metales	70	252	3.000	4.500	756,00 - 1.134,00
Papel - Cartón..............	70	1.138	2.000	3.500	2.276,00 - 3.983,00
Vidrio.......................	70	190	750	1.250	143,54 - 237,50
Plásticos....................	70	252	50	150	12,50 - 37,50
M. orgánica	35	1.580	400	800	632,00 - 1.264,00
Otros materiales............	6	6	6	6	6
TOTAL.....					3.819,00 - 6.656,00

Tabla 5.9.3.

De acuerdo con el United States Bureau of Mines (USBM), se han establecido unos costes de inversión y operación aproximados para una planta con tecnología "front end" de tratamiento de residuos urbanos en bruto, de características similares a la indicada en la Figura 2.5.22. anterior, con capacidad para 2.690 toneladas/día de tratamiento (capaz de absorber todas las basuras urbanas de Madrid). Asímismo se indica el valor de los concentrados obtenidos en pesetas/tonelada (debiéndose hacer, sin embargo, la consideración de que el valor de dichos concentrados está ajustado a las condiciones americanas de mercado).

COSTES DE INVERSION Y OPERACION PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS URBANOS EN BRUTO
2.690 t/día de capacidad
(U.S.B.M.)

Costes de inversión	850 . 10^6 pesetas
Costes de operación	300 pesetas/tonelada
Valor estimado de concentrados	850 pesetas/tonelada

Tabla 5.9.4.

Con la misma fuente de información, se han calculado los costes de inversión y operación aproximados para plantas con tecnología "back end" de tratamiento de residuos de incineración. Estos costes se han establecido para plantas de 250 y 1.000 toneladas/día de tratamiento, lo que equivale a plantas de incineración de 750 y 3.000 toneladas/día de capacidad, respectivamente.

COSTES DE INVERSION Y OPERACION PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE INCINERACION
(U.S.B.M.)

Capacidad (t/día)	Estimación costes inversión (ptas.)	Estimación costes operación (ptas/t)
250	250.10^6	625
1.000	300.10^6	325

Tabla 5.9.5.

10.1. INTRODUCCION

En este apartado se inicia la descripción de las llamadas técnicas de transformación de residuos. Para los residuos agrícolas y ganaderos, urbanos e industriales con elevado contenido en materia orgánica (industrias de la alimentación, etc.), uno de los métodos de mejor aplicación es la transformación en "compost" de dichos residuos.

Es el método de aprovechamiento de residuos más antiguo y, quizá también, el más discutido. Como es sabido, se basa en la fermentación bacteriana de materias orgánicas en la presencia de aire. Los agentes de este proceso son organismos termofílicos aerobios y el producto resultante es de tipo húmico.

Los tipos de residuos que mejor se prestan al compost, son los que tienen fracciones fermentables, tales como los municipales, agrícolas, los de industrias de la alimentación y las aguas negras.

Se utiliza como corrector de suelos para la agricultura, como soporte de fertilizantes y para la manufactura de ciertos productos.

Entre otras condiciones, los materiales adecuados para este proceso deben tener un alto contenido en materias orgánicas fermentables y un índice bajo C/N del orden del intervalo de 10 a 25. Para lograr la primera condición, en el caso de residuos urbanos, las materias inertes no deben superar el 35%, lo que obliga a recurrir a procesos de separación; para mejorar la segunda característica, puede ser útil la mezcla con residuos de aguas negras.

Los costes de tratamiento son muy variables, según el tipo de instalaciones y su complejidad, pudiendo decirse que varían entre cifras del orden de 800 a 1.200 pesetas por tonelada. La capacidad mínima de tratamiento, atendiendo a criterios de economía de escala, no debe ser inferior a las 20.000 t/año, pudiendo fijarse la óptima entre 500 y 1.000 t/día.

Las ventajas fundamentales del compost residen en que su concepción es ecológica, en el sentido de que parte de los residuos se devuelven a la Naturaleza en una manera, no solamente compatible con ella, sino también necesaria, aportándole los componentes húmicos que precisan los suelos. Por otra parte, los costes de instalación son moderados.

Sin considerar las dificultades técnicas que puede presentar el correcto funcionamiento del proceso, en cuanto a dosificación de agua y aire, y a homogeneización de la mezcla, los inconvenientes son múltiples:

- Tiene poco valor como fertilizante, pues es realmente un buen corrector de suelos. Sufre así la concurrencia de los abonos químicos, con la desventaja además ante los mercados, de producirse en áreas urbanas y, en consecuencia, frecuentemente alejadas de los centros de consumo más favorables.

- Su demanda está sometida al carácter cíclico de la agricultura.

- Si el proceso se conduce de forma elemental, no se separan bien las fases que no fermentan (metales, vidrios, plásticos), entonces la aplicación del compost presenta el efecto negativo de la dispersión sobre las tierras de cultivo de los mismos residuos que, por un método de eliminación, aparecerían, al menos, concentrados. Por otra parte, si el proceso se desarrolla de forma adecuada, queda el inevitable pro-

blema de eliminar los residuos sobrantes.

- Considerado aisladamente, el balance económico del compost no es positivo. Muchas son las instalaciones que han cerrado, se encuentran a mitad de su capacidad, o subsisten por subvenciones municipales e, incluso, por la recuperación de los productos no fermentables.

- Desde el punto de vista del aprovechamiento integral de los residuos, teniendo en cuenta la recuperación de metales, vidrios y plásticos, e incluso la consideración de otras posibilidades de transformación de la materia orgánica, no parece el método más adecuado.

En resumen, quizás el factor que más ha deteriorado la imagen del compost, haya sido el no plantearlo como un método de eliminación, sino como un sistema rentable de aprovechamiento integral.

Su consideración ganaría mucho si se le contemplara simplemente como uno de los productos que pueden obtenerse de los residuos, estudiándose al diseñar las instalaciones correspondientes, la inclusión simultánea de los métodos adecuados de recuperación de las otras fracciones.

El futuro del compost puede residir por consiguiente, en situarlo en su auténtica perspectiva de simbiosis con los sistemas de recuperación; en mejorar el proceso con nuevas investigaciones sobre la bioquímica del mismo; en utilizarlo para recuperación de suelos en áreas afectadas por explotaciones a cielo abierto y otras aplicaciones de este tipo.

Este último es esencial, dadas las características de pobreza en humus de muchos suelos españoles. Por ello, enfocado desde un punto de vista de comercialización racional, es evidente que el "compost" debería tener en España un futuro halagüeño.

A continuación, se dan unas ideas más concretas sobre el proceso de fabricación de "compost".

En el vertido controlado, la fermentación de las basuras se inicia con una fase aerobia activa, que después pasa a ser muy lenta. Se ha ensayado reducir la duración de esta primera fase, actuando para ello fundamentalmente por aireación.

El corrector de suelos orgánico así obtenido, después de la fermentación, recibe el nombre de "compost".

Sin embargo, el "compostaje" debe considerarse fundamentalmente como un método de eliminación de basuras y no como un procedimiento de obtención de un fertilizante de fácil venta.

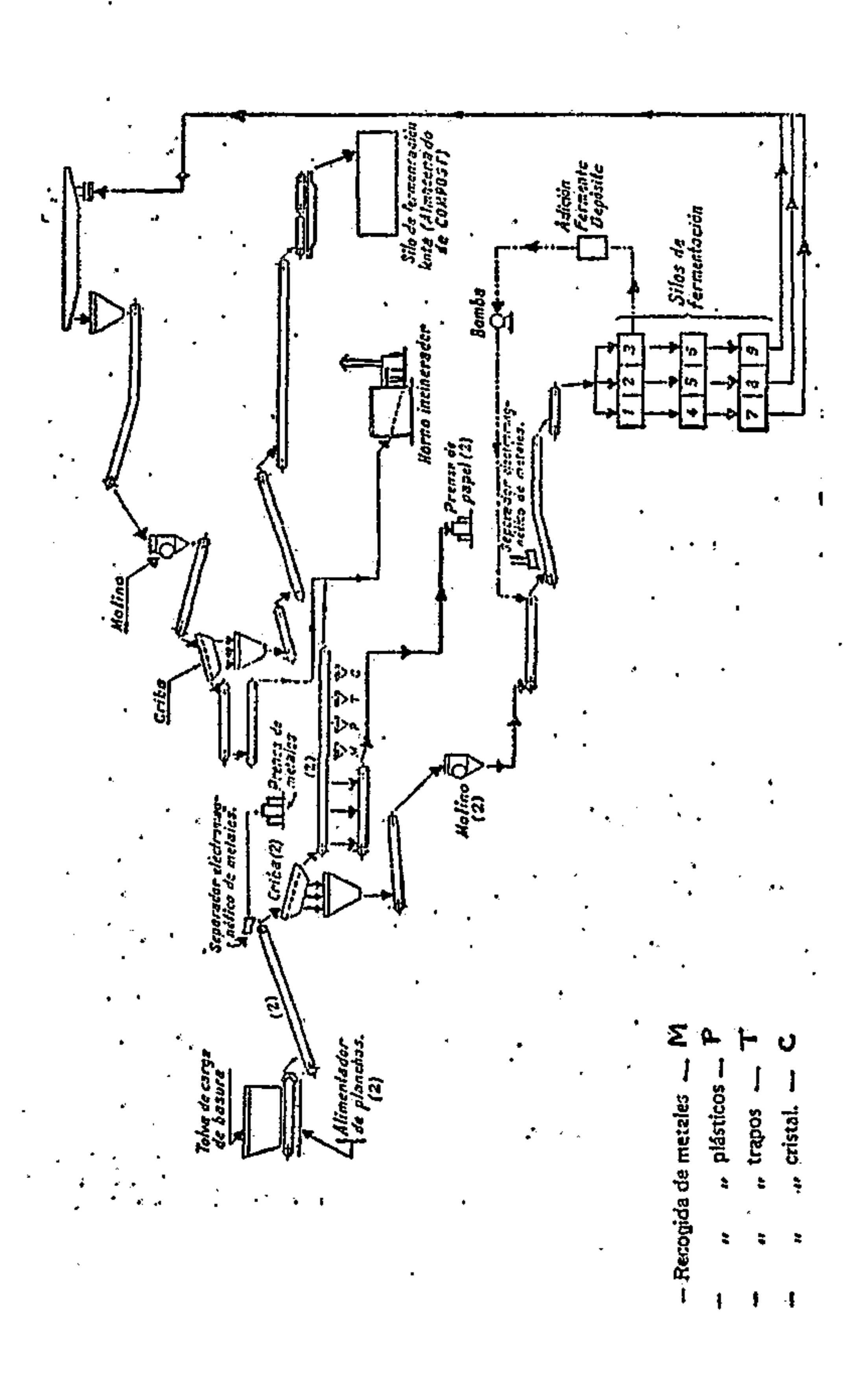
En algunos casos pueden asociarse las operaciones de "compostaje" y de vertido controlado utilizando el "compost" como capa de recubrimiento. Esto facilita la fermentación del resto de las basuras y da, además, un aspecto agradable a la instalación, al favorecer el crecimiento de plantas.

Los procesos de "compostaje" constan generalmente de las siguientes operaciones:

- Tratamiento físico primario de las basuras, con selección de todo tipo de subproductos aprovechables.
- Fermentación activada del producto.
- Tratamiento físico secundario del producto fermentable.
- Almacenamiento y fermentación lenta del "compost" obtenido.

En la Figura 5.10.1. se representa el esquema de funcionamiento de una planta de obtención de "compost"

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE OBTENCION DE COMPOST



10.2. TRATAMIENTO FISICO PRIMARIO

Toda fábrica de obtención de "compost" comenzará su proceso con un control de pesos de basura entrante y "compost" saliente.

Los camiones verterán las basuras frescas en unas tolvas de recepción, preparadas para dicho cometido.

Desde estas tolvas de recepción y mediante caminos de transporte adecuados, las basuras frescas llegarán hasta la instalación de tratamiento físico primario. Dicho tratamiento estará compuesto fundamentalmente por tres operaciones unitarias que, según el sistema empleado, irán dispuestas en un orden determinado.

Estas tres operaciones son:

. Cribado para eliminación de elementos grandes.
. Trituración y homogeneización.
. Selección mecánica o manual de subproductos.

El cribado suele realizarse en cribas de tipo vibratorio. En este cribado se separan cuerpos de gran tamaño que podrían perjudicar el buen funcionamiento del resto de la instalación. Uno de los mayores problemas actuales para obtener un buen cribado, es la apertura de las bolsas de plástico en que suele ir encerrada la basura. En efecto, si dichas bolsas pasan intactas a las cribas, son separadas, desperdiciándose así una buena cantidad de basura apta para fermentación. Se deben, por tanto, instalar dispositivos de apertura de bolsas.

Otra parte fundamental de esta instalación de tratamiento físico, la constituyen los aparatos de trituración destinados a obtener una granulometría uniforme en la masa de basuras que se envia a fermentación.

Los aparatos más empleados para esta finalidad, son molinos de martillos de uno o más rotores, con o sin rejillas. Estos aparatos suelen llevar revestimientos interiores de acero al Manganeso. Ultimamente se utilizan mucho, martillos fabricados en acero al Ni-Cr.

Por último, dentro del tratamiento físico, se considerarán también las instalaciones de selección mecánica o manual.

La selección mecánica, suele estar compuesta por separadores electromagnéticos que eliminen los botes y además chatarra, y, en algunos casos, por aparatos de flotación para recuperar papeles y cuerpos de celulosa.

En cuanto a la selección manual, se suele realizar sobre cintas planas y en ella, se separan los siguientes subproductos:

- Metales no férreos.
- Cristales.
- Plásticos.
- Papeles y cartones.
- Trapos.

10.3. SUBPRODUCTOS DE LA FABRICACION DE "COMPOST"

Estos subproductos son los siguientes:

- Metales ferromagnéticos.

Su recuperación se efectúa mediante separadores electromagnéticos. Se recuperan en un porcentaje próximo al 90%. Desde los separadores suelen ser enviados a prensas de chatarra en las que se procede a su empacado para su posterior comercialización.

- Metales no férricos.

Compuestos fundamentalmente por aluminio, estaño, zinc, plomo y, en ocasiones, por niquel y cobre.

Se suelen recuperar en porcentajes variables, entre el 65 y el 80%.

Son separados manualmente y se envian a prensas para su empacado.

- Plásticos.

Se recuperan en un porcentaje aproximado de un 80%. Son separados manualmente y se envian a prensas para su empacado.

- Trapos.

Se recuperan en un porcentaje de un 80%. Al igual que en casos anteriores, son separados manualmente y empacados en prensas.

- Cristales.

Compuestos fundamentalmente por botellas. Se recuperan en un porcentaje aproximado de un 75%. Su separación es también manual. Las botellas o envases aprovechables son almacenados y el resto es enviado a un pulverizador en donde el cristal es reducido a tamño fino para ser ensacado.

- Papeles y cartones.

Constituyen el subproducto más importante comercialmente. Son de fácil venta poe su utilización en la industria papelera para fabricación de pasta o cartones y estrazas. Se recuperan también en porcentajes aproximados de un 80%. Su selección puede ser manual o automática mediante sistemas de flotación. Su almacenamiento se efectúa en pacas obtenidas en prensas especiales para este tipo de productos.

10.4. FERMENTACION ACTIVADA

Para guiar mejor la fermentación y llegar a un producto de mejor calidad se debe actuar de una manera directa sobre factores tales como la aireación, temperatura e, incluso, sobre la composición química y bacteriológica. Esto requiere la construcción de células de digestión o silos de fermentación. En este punto es en el que se encuentran las mayores diferencias entre los distintos sistemas de producción de "compost".

Se dará a continuación una lista no limitativa de los procedimientos de fermentación activada más conocidos, con sus principales características.

- Beccari.

Es de los más antiguos. La fermentación se realiza en células, similares a grandes cubas, durante 25 días. Necesita un gran número de cubas. Proceso en desuso.

- Biotan.

Se trata de un área de fermentación en corona sobre la cual se desplaza un recipiente, llamado tanque, montado sobre guías, que se desplaza de manera que cubra la partida en fermentación activa solamente. El montón trapezoidal tiene una altura de 5 a 7 metros. Duración de la actividad: 5 semanas.

- Carel y Fouché

Después de una selección manual y un triturado, encontramos un digestor en forma de una enorme torre rectangular de 12 m. de altura, que se compone de 6 pisos, separados por rejillas de barrotes basculantes. Cada día el "compost" desciende un piso y, en cada piso, es humidificado y aireado.

- Cifal.

Después de un triturado, la fermentación tiene lugar en cajas, tras un regado con una solución enriquecida con nitrógeno y fermentos activados. La estancia en células es de 7 a 8 días. Está precedido por un premolido de finición.

- Dano.

La fermentación se efectúa en un pequeño horno de cemento, compuesto por un cilindro giratorio alrededor de su eje horizontal en forma continua. Se efectúa una autotrituración y el cribado final deja un rechazo importante. Las basuras están 6 días en este cilindro, llamado bioestabilizador.

- Eweson-Sovaro

La fermentación tiene lugar en una torre vertical con compartimentos. Se efectúa un molido previo.

- Galamus

Se trata de un método especial que permite producir, al mismo tiempo que el "compost", furfurol por hidrólisis de las basuras. Estas deben acidificarse previamente con ácido sulfúrico (neutralizado con fosfato tricálcico) o con superfosfato. El funcionamiento es en continua. El valor del "compost" es ligeramente superior por la presencia de sulfatos y fosfatos pero, por el contrario, el rendimiento en furfurol es muy bajo.

- Pic.

Se efectúa la fermentación en silos, con transvase diario durante 4 a 6 días. La aireación se efectúa de forma natural durante dicho transvase.

- Prat.

La fermentación acelerada tiene lugar en células con rejillas, durante 6 días. La selección y el molido se efectúan después de la fermentación.

- Socaltra Española, S. A.

Selección previa. Fermentación rápida el silos de hormigón con aireación de las basuras por volteos, mediante puentes-grúa. Duración de esta fermentación rápida: 9 días.

- Triga.

La aireación de la basura triturada tiene lugar por volteos dentro de una torre con compartimientos verticales.

- Tunzini.

Es un intermedio entre la incineración y el "compostaje". Después de un molido previo, las basuras se secan hasta un 10% de humedad y se emplean como combustible o como materia prima para obtención de "compost".

Existen, evidentemente, otros procedimientos, pero el dar explicaciones sobre cada uno de ellos, se saldría del objeto de este capítulo. Se indican por lo tanto, a continuación, aquellos puntos comunes a todos los procesos de fermentación.

Durante un proceso de fermentación activada, se consigue eliminar de las basuras los gérmenes nocivos, bacterias, virus, quistes, etc.

De las investigaciones del profesor GOTTAAS, se desprende que las altas temperaturas no afectan a los 20 cm. superiores de espesor en una pila de almacenamiento. Por lo tanto, si no se procediese a un volteo del producto, esa capa alta de 20 cm. quedaría sin higienizar, con el consiguiente peligro de convertirse en estufa de cultivo para los gérmenes patógenos.

El proceso de fermentación debe ser de tipo aerobio para obtener, como productos finales, agua, anhídrico carbónico, nitrógeno, fosfatos y sulfatos y, en ningún momento, cadaverina o sulfhídrico, como sucedería en la fermentación anaerobia. Esto explica la gran reducción de olores de un proceso con respecto a otro.

Durante la fermentación se pueden alcanzar temperaturas del orden de 80ºC que, como sabemos, son letales para los microorganismos.

En todo proceso de fermentación activada, deben de tenerse muy en cuenta los siguientes puntos:

- La humedad no debe ser inferior a un 30%, para que la acción enzimática se pueda producir, ni superior al 58%, porque en ese caso se podría provocar la anaerobiosis:

- Será necesario aportar la cantidad de oxígeno precisa para que el proceso de oxidación-reducción se rea

lice favorablemente con la liberación de la energía necesaria.

- Se debe conseguir una relación C/N inferior a 30, para permitir un ataque rápido de los microorganismos.

- El pH debe estar entre límites tolerables, por lo que conviene controlar la adición de lodos o cantidad excesiva de cenizas alcalinas que puedan modificar el medio.

- La regulación de la temperatura es absolutamente necesaria.

Durante el proceso de fermentación activada se deposita en el fondo del digestor o de los silos gran parte del agua contenida en las basuras. Este agua puede ser aprovechada ya que es muy rica en fermentos. Por ello, si la reciclamos a la entrada de los silos, favorecemos considerablemente la fermentación de las basuras.

Un procedimiento de mantener una humedad óptima en las basuras, es la adición de lodos. Estos lodos pueden provenir de una instalación próxima de depuración de aguas residuales.

De esta forma, puede obtenerse un "compst" enriquecido en nitrógeno y fósforo, sin gasto adicional apreciable.

10.5. TRATAMIENTO FISICO DEL PRODUCTO FERMENTABLE E INCINERACION DE LOS RESIDUOS RESTANTES

Una vez conseguida la fermentación activada de las basuras, debe procederse a una mejora del "compost" obtenido. Esto se consigue por medios físicos similares a los ya citados en el tratamiento físico primario.

En efecto, se utilizan cribados y moliendas del "compost" con aparatos del mismo tipo que los que citamos precedentemente.

El cribado tiene por objeto la eliminación de aquellas partículas gruesas que hayan podido superar el proceso de fermentación sin sufrir modificación alguna, como trozos de cristal que atravesasen el cribado y selección previos, metales, etc.

La trituración persigue la finalidad de obtener un "compost" granulado y homogéneo, mejorando así considerablemente el aspecto exterior del producto y facilitando sensiblemente su comercialización.

Todos aquellos residuos no fermentables ni recuperables (escombros, restos de madera, etc.) separados en el tratamiento físico primario o en este último cribado, deben ser eliminados, por lo que suele ser aconsejable la instalación de un pequeño horno de incineración.

10.6. ALMACENAMIENTO DEL "COMPOST" Y FERMENTACION LENTA

El "compost" ya refinado pasa a su almacén. Este almacenamiento se suele efectuar al aire libre, con lo que se facilita la fermentación lenta del "compost". En efecto, durante su almacenamiento, el producto va completando su fermentación, siempre de forma aerobia. Cuando esta nueva fase de fermentación

ha terminado, se obtiene un "compost" maduro. La madurez del producto se alcanza cuando:

- Ningún punto de la pila está a mayor temperatura que el ambiente.

- Ha cesado totalmente la pequeña liberación de SH_2.

- La relación C/N ha bajado a menos de 19.

10.7. ADICION DE NUTRIENTES Y ENSACADO DEL "COMPOST"

El "compost" no es un fertilizante rico en sustancias minerales. Por lo tanto, en algunos casos, será conveniente la adición de elementos que puedan incrementar su contenido en nitrógeno, fósforo y potasio. Un fertilizante bastante utilizado en los EE.UU. es el compuesto por un 75% de turba y un 25% de "compost".

El "compost", mezclado o no con otros fertilizantes, puede pasar finalmente a una instalación de ensecado del producto terminado.

La comercialización del "compost" debe hacerse con la idea de obtener dos productos distintos.

Uno de ellos, es utilizado para el gran cultivo, y solamente debe ser cribado y almacenado para su venta a granel. El otro tipo debe ser "pelletizado" y ensacado. Este último tipo de "compost" se emplea para cultivo de árboles frutales, olivos, huertas, flores, etc.

Los porcentajes de producción de uno u otro producto, serán determinados por las exigencias del mercado.

10.8. EJEMPLO DE INSTALACION PARA OBTENCION DE "COMPOST"

Se van a describir someramente en este apartado, las características y equipos de una planta de fabricación de "compost".

La composición de la basura a tratar en dicha planta está exhaustivamente reflejada en la Tabla 5.10.1. En esta Tabla, pueden verse los distintos porcentajes que fermentan (formando parte del "compost" final), los cuerpos que deben ser incinerados y aquellos que deben ser evacuados a vertedero o enviados a recuperación selectiva, como pueden ser las escorias y cenizas procedentes de la propia incineración.

La planta descrita tiene una capacidad de 330 tm/día de basura fresca. La jornada de trabajo será de 10 horas. Existirán dos líneas de tratamiento de 165 tm/día cada una.

El ritmo de funcionamiento de la planta se ha previsto de 16,5 tm/hora en cada línea, o sea, un total de 33 tm/hora.

Un pequeño horno crematorio incinerará los productos no recuperables y tendrá una capacidad de 8 tm/día.

A continuación se enumeran los equipos e instalaciones de que dispone esta planta. Para facilitar su estudio, se dividen en secciones.

COMPOSICION DE LA BASURA A TRATAR EN UNA PLANTA DE FABRICACION DE "COMPOST"

% BASURAS	% Fermentación	% Recuperación	% Incineración	% Vertedero
2,6 Metales	5	90	---	5
3,1 Cristales	---	80	---	20
0,5 Cuero	20	---	80	---
2,8 Escombros	10	---	---	90
20,8 Cenizas	80	---	---	20
1,3 Plásticos	---	80	---	20
1,5 Madera	10	---	90	---
18,2 Papel	10	80	10	---
2,3 Cartón	10	80	10	---
2,2 Trapos	---	80	20	---
0,8 Pajas	100	---	---	---
1,5 Huevo	100	---	---	---
1,2 Pan	100	---	---	---
1,3 Carne y pescado	100	---	---	---
19,9 Restos vegetales	100	---	---	---

Tabla 5.10.1.

- Control de entrada y salida de productos

. 1 puente-báscula de pesada rápida con una pesada máxima de 50 Tm.

- Recepción de basuras

. 2 Tolvas de recepción construidas en hormigón.

. 2 Alimentadores de planchas metálicas, situados bajo tolvas.

. 1 Cortina de aire para evitar que se propaguen los malos olores desprendidos en la descarga de basuras.

. 1 Instalación de ventilación en la nave de descarga, con lavado del aire extraído.

- Selección de basuras

. 2 Cintas transportadoras de alimentación a cribas.

. 2 Cribas de resonancia para tamizado de basuras domésticas.

. 2 Canales bajo cribas para transportar el producto a la sección siguiente.

. 2 Cintas transportadoras de selección manual para el rechazo de las cribas anteriores.

- Homogeneización-Trituración

. 1 Cinta transportadora que recoge el producto de los canales anteriores y lo introduce en los molinos.

. 2 Molinos de martillos oscilantes para trituración de basura fresca.

. 1 Cinta transportadora que recoge el producto triturado.

. 1 Cinta transportadora que recoge el producto triturado de la cinta anterior.

. 1 Cinta móvil de distribución en silos de fermentación.

- Fermentación rápida

. 3 Silos de fermentación primarios construídos en hormigón.

. 1 Sistema de drenaje de dichos silos primarios.

. 1 Sistema de calentamiento del fondo de los silos primarios, mediante serpentín con circulación de agua caliente.

. 3 Silos secundarios construidos en hormigón.

. 3 Silos terciarios construídos en hormigón.

- Tratamiento físico del producto fermentado

. 1 Puente-grúa para descargar los silos de fermentación rápida.

. 1 Tolva corrida de hormigón para recoger los productos descargados por el puente-grúa.

. 1 Cinta transportadora de alimentación al molino de producto fermentado.

. 1 Molino de martillos para trituración de "compost".

. 1 Cinta transportadora de alimentación a la criba de producto fermentado.

. 1 Criba de resonancia para tamizado de "compost".

. 1 Cinta transportadora que recoge los rechazos de criba.

. 1 Cinta transportadora que enlaza con la cinta anterior y lleva los rechazos hasta el horno de incineración.

. 1 Canal bajo criba para transportar el producto que atraviesa el cribado hasta la cinta siguiente.

. 1 Cinta transportadora de pendiente variable para eliminar los elementos más pesados que hubiesen atravesado el cribado.

. 1 Cinta transportadora que recoge el "compost" de la cinta anterior y lo descarga en la siguiente.

. 1 Cinta transportadora que conduce al "compost" hasta la cinta-puente de distribución.

. 1 Cinta-puente de distribución del "compost" en el almacén de producto terminado.

- Adición de fermentos

. 1 Sistema colector del agua procedente de los silos primarios.

. 1 Depósito de hormigón para dicho agua.

. 1 Bomba de reciclado del agua con fermentos.

. 1 Sistema de riego de dicho agua a la entrada de silos de fermentación rápida.

- Horno de incineración

. 1 Horno de incineración con todos sus accesorios, incluso lavado de humos y recuperación de calor mediante cambiador de contracorriente.

- Metales ferromagnéticos

. 2 Separadores electromagnéticos situados a la entrada de cribas de basura fresca.

. 1 Separador electromagnético situado a la entrada de la criba de producto fermentado.

. 1 Prensa empacadora hidráulica para chatarra.

- Metales no férreos, plásticos, trapos y cristales

. 8 Tolvines de recogida construídos en chapa de acero.

- Papeles y cartones

. 1 Tolva de recogida construída en chapa de acero.

. 1 Cinta reversible de recogida.

. 2 Canales de chapa de alimentación a prensa.

. 2 Prensas empacadoras para papel y cartones.

- Taller de mantenimiento

. 1 Puente-grúa con polipasto monorail.

- Limpieza de locales

. 1 Conjunto de tomas de agua.

. 1 Sistema de mangueo mediante agua a presión.

- Instalación eléctrica

. 1 Instalación de transformación de tensión.

. 1 Instalación completa de fuerza.

. 1 Instalación completa de alumbrado.

- Obra Civil

. 1 Nave de recepción.

. 1 Nave de fermentación rápida.

. 1 Nave de almacenamiento.

. 1 Nave de taller.

. 1 Edificio de oficinas y servicios.

. Urbanización y jardinería.

Una planta de obtención de "compost" como la que se ha descrito, necesita una potencia total instalada en Kw de:

Fuerza	933,7
Alumbrado	90,0
Total	1.023,7

Coeficiente de consumo: 0,8
Potencia total consumida: 819 Kw
Consumo diario: 8.190 Kw/h.

Esta fábrica de obtención de "compost" absorberá unos 43 puestos de trabajo, distribuidos de la siguiente forma

- Departamento de Dirección

1 Jefe de Producción.
1 Oficial Administrativo.
1 Secretaria.

- Departamento de Comercialización

1 Director Comercial.
4 Agentes de Ventas.
1 Administrativo.
1 Secretaria.

- Departamento de Producción

1 Auxiliar de Laboratorio.
1 Especialista eléctrico.
1 Auxiliar del especialista.
1 Especialista mecánico.
1 Auxiliar del especialista.
1 Gruista.
3 Tractoristas.
1 Encargado.
1 Capataz.
1 Encargado del funcionamiento del incinerador.
8 Productores.
12 Productoras.
1 Guarda.

Una planta completa de fabricación de "compost" del mismo tipo que la que se acaba de describir, puede tener un costo aproximado de unos 280 millones de pesetas.

10.9. PROPIEDADES DEL COMPOST

El "Compost" es un producto negro, homogéneo, sin restos gruesos y que se presenta genralmente en forma granulada. Es, al mismo tiempo, un producto húmico y cálcico, un fertilizante químico. Su valor no es despreciable por su aportación al suelo de oligo-elementos.

El humus está compuesto por partículas coloidales electrizadas, que tienen la propiedad de absorber iones a su superficie, ya sean iones solubles o no. Los elementos fertilizantes absorbidos son mucho más asimilables que los iones minerales libres. Así, el humus vuelve absorbibles por las raices a los iones fertilizantes, jugando al mismo tiempo el papel de tampón de nutrición, de almacenamiento y de regulador del pH. Por otra parte, las materias coloidales dan una estructura estable al suelo.

Como fertilizante, el "compost" es comparable a un buen estiércol, ligeramente más rico en fosfatos que éste y, por el contrario, menos rico en potasa. La composición del "compost" depende fundamentalmente de la composición de la basura fresca.

En la Tabla 5.11 2: , puede observarse un cuadro comparativo entre las características del estiércol y las del "compost".

COMPARACION ENTRE LAS CARACTERISTICAS DEL ESTIERCOL Y LAS DEL COMPOST

%	Estiércol	Compost	Compost con edición de lodos
Agua	70/80	30/50	50/60
N total	0,5	0,5 /0,65	0,6
Acido fosfórico	--	0,25/0,6	0,8
Potasa	0,6	0,35/0,7	0,3
Cal	1	5	5
pH	--	7,5	7

Tabla 5.10 2ª.

En el "compost" se encuentra también celulosa en porcentajes del 8 al 12%.

Al lado de estos elementos se encuentran también indicios de oligoelementos: hierro, cobre, manganeso y magnesio.

El "compost" actúa sobre el suelo de tres formas distintas: físicamente, químicamente y biológicamente.

- Físicamente

. Da cuerpo a las tierras ligeras y mulle a las tierras fuertes.
. Evita la formación de costra.
. Facilita el laboreo.
. Mejora la aireación de las raíces.
. Aumenta el poder retentivo del agua, economizando la misma, dando por consiguiente, una mayor resistencia a la sequía.
. Regula la permeabilidad y el drenaje de los suelos.

- Químicamente

. Con la arcilla forma el complejo arcilloso-húmico que es el regulador de la nutrición vegetal.
. Aumenta la capacidad de cambio de los iones.
. Economiza y hace más asimilables los abonos minerales.
. Atenúa la retrogradación del potasio.
. Mantiene el fósforo en estado asimilable por la formación de complejos fosfo-húmicos.
. Cura y previene la clorosis férrica, por lo que es muy aconsejable para los frutales.
. Proporciona gas carbónico que permite una mayor solubilidad de los elementos minerales.
. Se obtienen productos con mejor sabor, conservación y mayor resistencia para el transporte.

- Biológicamente

. Revitaliza el suelo aportando microorganismos útiles.
. Hace de medio soporte a los microorganismos; éstos viven a sus expensas y lo transforman.
. Aumenta la resistencia de las plantas a todo tipo de enfermedades.
. Está libre de semillas y malas hierbas, debido a las altas temperaturas que soporta durante la fermentación. Con ésto se consigue eliminar cualquier tipo de contaminación.

El "Compost" tiene un gran número de campos de aplicación, como pueden ser:

- Abonado de frutales.
- Abonado de olivares.
- Abonado de viñas.
- Cultivos hortícolas.
- Cultivos de la remolacha.
- Cultivo del maíz.
- Floricultura.
- Jardinería.

10.10. INCIDENCIA DEL TRANSPORTE EN EL COSTE DE UN "COMPOST" COMERCIALIZABLE

En el trabajo "Survey of solid wastes management practices", publicado por la Organización Mundial de la Salud, se puede encontrar el siguiente estudio en el que se ha utilizado una cantidad de moneda ficticia U.

Esto permitirá comprender las incidencias del transporte, del control de calidad, etc., sobre el coste final de 1 Tm. de "compost".

Este estudio, efectuado para una tonelada de "compost" maduro, de buena calidad, viene reflejado en la Tabla 5.10 3 . (El transporte se ha considerado en un círculo de 50 a 60 Km.).

Puede verse la incidencia tan brutal que tiene el transporte sobre el coste del "compost". Esto obliga a considerar radios de venta muy limitados para este producto.

Si se hiciese una mezcla de nutrientes para obtener un abono N, P, K de buena calidad, el coste podría llegar hasta un precio comparativo de 9,20 U.

COSTES DE UN COMPOST COMERCIALIZABLE

Concepto	Costos
Precio de costo en Planta	1 U
Carga en camiones	0,1 U
Transporte	3 U
Control de calidad	0,5 U
Reserva para posibles mermas y pérdidas en stock	0,4 U
Precio total con transporte	5 U

Tabla 5.10 3 .

11.0. INTRODUCCION

Es un método de eliminación de origen reciente. Fue en Inglaterra en 1870 donde tuvo lugar uno de los primeros intentos de incineración de residuos. El primer "incinerador" (u "horno crematorio" como se le llamó) proyectado específicamente para empleo municipal se construyó en 1874. Mientras que la mayor parte de los residuos recogidos lo fueron en forma húmeda, en tanto que los residuos combustibles secos lo eran en cantidades extraordinariamente pequeñas, resultó difícil hacer funcionar con éxito los primeros incineradores centrales. Fue necesario hacer uso normalmente de combustible auxiliar.

Las primeras instalaciones británicas quemaron residuos a temperaturas relativamente bajas, produciendo una gran cantidad de humo y olores desagradables. En 1885, se diseñó un incinerador que disponía de un fuego secundario en la embocadura principal para acabar con el humo y los olores por medio de una combustión a alta temperatura. Sin embargo, este método resultaba caro viéndose que podían encontrarse resultados aceptables organizando la combustión a temperaturas más altas en los mismos hornos. Muchos de los incineradores utilizaron, para este fin, el calor disipado. El poco calor conseguido de los residuos mezclados condujo a la adopción de un sistema denominado de "separación-incineración", consistente en la separación de los materiales no combustibles de los desechos a recuperar o dejados en vertederos, con exclusión de los que pudieran quemarse con seguridad. La primera de tales instalaciones se construyó en 1919, y la mayoría de las construidas en Inglaterra desde entonces han sido del mismo tipo.

En años más recientes, el proyecto de incinerador se ha visto notablemente influido por el carácter cambiante de los residuos y por la necesidad de un funcionamiento más eficiente, con coste inferior y produciendo menos contaminación. Esto ha conducido al desarrollo de sistemas de alimentación contínua y de atizado del fuego por medios mecánicos, de sistemas de soplado por control mecánico, de medios para eliminar las cenizas dispersas, sistemas continuos de extinción y descarga de residuos del incinerador, así como el uso de paredes soportadas seccionalmente y de arcos colgados con revestimientos de gran calidad refractaria. Estos desarrollos han hecho posible la instalación de incineradores mayores, de combustión mejorada, de más bajo potencial de creación de molestias y con la ventaja de costes de operación inferiores.

La incineración es uno de los métodos utilizados en nuestro país para la eliminación de basuras. Sin embargo, pocos son los casos en que este proceso se realiza con garantías; entre ellos puede citarse la incineradora de Barcelona, la de Montcada y las nuevas incineradoras de Vigo y Palma de Mallorca.

Existen instalados algunos tipos de incineradoras, pocas, que no reunen de ninguna forma las garantías mínimas para prevenir la contaminación y que en la mayoría de los casos ni siquiera son capaces de funcionar con un régimen adecuado.

Conviene destacar que el bajo poder calorífico de los residuos sólidos urbanos españoles crean graves problemas a la incineración y aumenta su coste de forma importante. El coste de incineración varía entre 1.000 y 1.600 pts/t.

11.1. PRINCIPIOS GENERALES

La incineración es un proceso de combustión, realizado de una forma súbita y a elevadas temperaturas

mediante el cual se pretende acelerar el proceso natural de oxidación biológica, que junto con la fotosíntesis cierra el ciclo energético de la naturaleza.

El objetivo de la combustión es la conversión de residuos, tales como papel, madera, trapos y otros combustibles, en productos gaseosos y residuos menos voluminosos que el material original. Estos productos son en general: anhídrido carbónico, agua, anhídrico sulfuroso y nitrógeno en diferentes estados de oxidación.

Durante el proceso se liberan *grandes cantidades de energía*. *El calor producido* en la combustión es, por una parte, acumulado en los productos, y por otra, transferido por conducción, convección y radiación a las paredes del horno y al combustible de entrada, necesario para la ignición.

La reacción de combustión puede esquematizarse en la forma siguiente:

$$\underset{\text{(residuo)}}{C_wH_yO_zN_tS_u} + \underset{\text{(aire)}}{(CO_2 + N_2 + O_2 + H_2O)} \longrightarrow \underset{\text{(productos de combustión)}}{CO_2 + H_2O + N_2 + SO_2 + NO_x}$$

11.2. ETAPAS BASICAS DEL PROCESO DE INCINERACION DE RESIDUOS

En todo horno incinerador se distinguen claramente dos etapas diferenciadas: la carga y preparación de las basuras por un lado y la reducción térmica y extracción de las escorias por otro.

11.2.1. Carga y preparación

La manipulación de los residuos no es tarea fácil debido a la fuerte variación de sus componentes.

En toda instalación de incineración y por lo general a la entrada de la planta, se suele situar una báscula de camiones para el pesaje de los residuos que diariamente son incinerados. Esta operación permitirá no sólo evaluar el comportamiento de la unidad, sino también controlar el cánon de explotación que por lo general viene referido al tonelaje tratado.

El residuo transportado por los camiones de recogida debe ser descargado en los fosos de almacenamiento.

El volumen de almacenamiento es un compromiso entre el coste de este depósito y el volumen más recomendable para un funcionamiento continuo. Una cifra que viene empleándose con mucha frecuencia suele ser el volumen necesario para el almacenamiento de la producción de un día.

El ancho y la profundidad del foso debe ser convenientemente dimensionados (teniendo en cuenta la parábola de caída del material en su descarga y el ángulo del talud natural) para un máximo aprovechamiento del volumen de foso y todo ello teniendo muy en cuenta no interferir el funcionamiento de los puentes-grúas que generalmente discurren a lo largo del foso.

Para conseguir una temperatura lo más uniforme posible se suele instruir al operario que carga el horno para que proceda a la carga con material procedente de diferentes partes del foso. Asimismo, el horno dispone de los correspondientes controles de *temperatura* por variación en el caudal de aire en exceso

A pesar de lo anterior, elementos muy voluminosos pueden presentar dificultades para su manejo y carga, razón por la cual en algunas instalaciones se incorporan cizallas de grandes dimensiones para trocear estos elementos.

Por todas estas razones existen nuevas tecnologías que se orientan a la preparación de los residuos para su incineración.

Dentro de estas tecnologías, se pueden considerar tres tendencias claramente diferenciadas:

- Trituración de residuos a un tamaño grueso para ser incinerados en parrillas móviles (tamaño 10-30cm.).

- Trituración de residuos a un tamaño medio para su transporte neumático e incineración en suspensión o semi-suspensión (tamaño $<$ 2/3 cm).

- Obtención de un combustible de alto poder calorífico mediante el secado y pulverización (con o sin peletización).

En los dos primeros casos se emplean los clásicos trituradores de martillos oscilantes, a ser posible de alta capacidad para evitar roturas del equipo. En el tercer caso, además de los trituradores de martillos oscilantes, se debe completar el proceso con secado mediante secadores rotatorios y pulverizado con molinos de bolas.

La carga de los residuos se realiza mediante puentes-grúas cuando el producto se incinera en unidades provistas de parrillas móviles. En los incineradores que queman el residuo triturado en suspensión, la carga es continua y mediante sistemas neumáticos de transporte.

Los puentes-grúa transportan el residuo desde los fosos a las tolvas de entrada al horno. Los carriles de apoyo del puente discurren a ambos lados y a lo largo del foso de almacenamiento, teniendo acceso a cualquier punto del foso. Como cucharas se pueden emplear las denominadas de "pólipos", que consisten en varios brazos, y de "valvas", que materialmente forman un conjunto cerrado. El accionamiento de estas cucharas puede ser mediante cables o por sistemas electrohidráulicos.

11.2.2. Proceso térmico de la combustión

El elemento principal de una planta de incineración es la unidad térmica y horno propiamente dicho; en dicho elemento es donde se lleva a cabo la combustión de los desperdicios sólidos que queremos eliminar.

Con vistas a un mayor rendimiento del proceso, los residuos pueden clasificarse en:

- Materiales de combustión.- Papel, cartón, paja, trapos, neumáticos, cueros, maderas y plásticos, estos últimos cada vez en mayor proporción.

- Materiales que aportan humedad.- Materia orgánica en general, y en particular restos de comida, y, en especial, verduras.

- Materiales inertes o portadores de cenizas.- Podemos señalar aparte de las cenizas producidas en las calefacciones domésticas, los envases metálicos, chatarras, vidrio, loza, escombros, etc.

En general se puede afirmar que las basuras se pueden incinerar, sin ayuda de combustible auxiliar, cuando el poder calorífico inferior de las mismas es mayor de 1.000 Kcal/Kgrs.; cuando su contenido en humedad es inferior al 50% y su contenido en cenizas inferior al 60%.

En los hornos continuos, el avance de los residuos en la combustión y la extracción de las cenizas se pueden conseguir por los siguientes sistemas:

. Combustión de los residuos en parrilas móviles.
. Combustión de los residuos en hornos rotatorios.
. Combustión de los residuos en suspensión.

Cuando los residuos se queman en parrillas móviles, el producto avanza por el movimiento impartido por las parrillas al tiempo que se quema. Al final del recorrido no quedarán más que las cenizas, que son descargadas.

Por lo general, se suelen instalar tres parrillas móviles. La primera de presecado e ignición, la segunda de combustión activa y la tercera de combustión complementaria y descarga de escorias.

Las parrillas forman el fondo del hogar de combustión. El resto está formado por los laterales, que son paredes de ladrillo refractario, cuya calidad varía en función de su localización dentro del horno.

Los residuos son alimentados en la parte superior del conjunto de parrillas; los gases producidos salen por la parte superior del hogar, mientras que las escorias son descargadas al final de la última parrilla en depósitos con agua para su total extinción, y se extraen con transportadores metálicos. Estas escorias tienen un posible aprovechamiento separando la fracción férrica y empleando el resto como material de relleno para construcciones.

El aire necesario para la combustión se suministra por la parte inferior del conjunto de parrillas, que están siempre perforadas para permitir el paso del aire. Por dichas perforaciones también pasan partículas finas de cenizas o incombustibles, que son recogidas por la parte inferior y descargadas con las escorias.

En la combustión, el oxígeno del aire se combina rápidamente con el carbono, produciendo CO_2 y liberando calor. Este calor favorece la reacción contraria: $2\ CO_2 \longrightarrow 2\ C + O_2$, máxime si en puntas determinadas hay demandas de oxígeno. Para evitar este fenómeno y conseguir una buena mezcla de los gases desprendidos y el aire de combustión necesario se inyecta por la parte inferior, como hemos señalado y también por la parte superior mediante tuberías de pequeño diámetro localizadas en puntos estrategicos.

Dentro de las parrillas móviles se deben distinguir los siguientes tipos:

. Parrillas de traslación (traveling grates).
. Parrillas alternativas (reciprocating grates).
. Parrillas de giro angular (rocker-arm grates).
. Parrillas giratorias (barrel grates).
. Parrillas de inercia (inertial grates).

Las parrillas de translación consisten en un conjunto de piezas articuladas de acero refractario que funcionan a modo de transportador de banda. Los residuos son descargados en este transportador y son transportados por él. En este tipo de parrillas no suele producirse la agitación complementaria del producto. (Figura 5.11.1.)

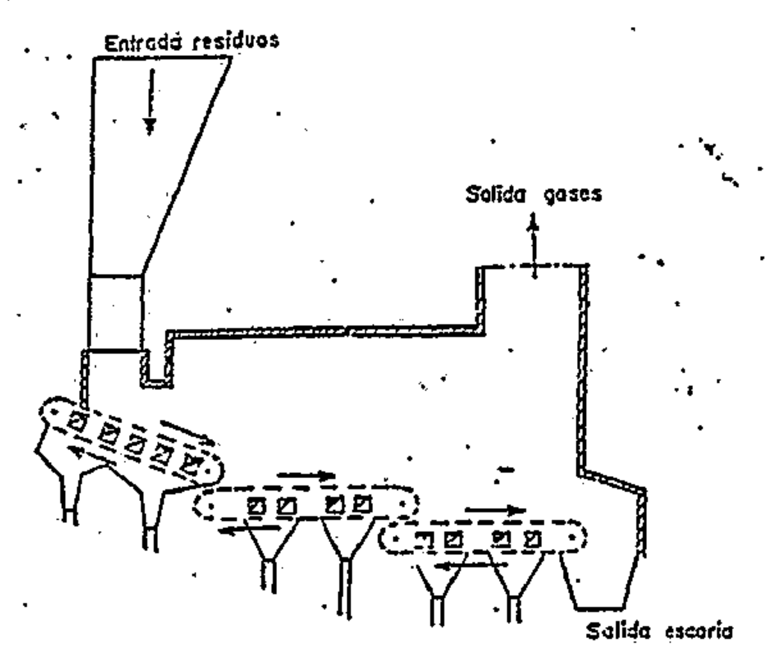


Figura 5.11.1. - PARRILLAS DE TRANSLACION

Las parrillas alternativas consisten en un conjunto de piezas de acero refractario fijas y un conjunto de piezas del mismo material, que se mueven en vaivén imprimiendo a los residuos un movimiento de avance y volteo. En ocasiones se incorporan unos brazos ascendentes para completar la agitación del producto. (Figura 5.11.2.).

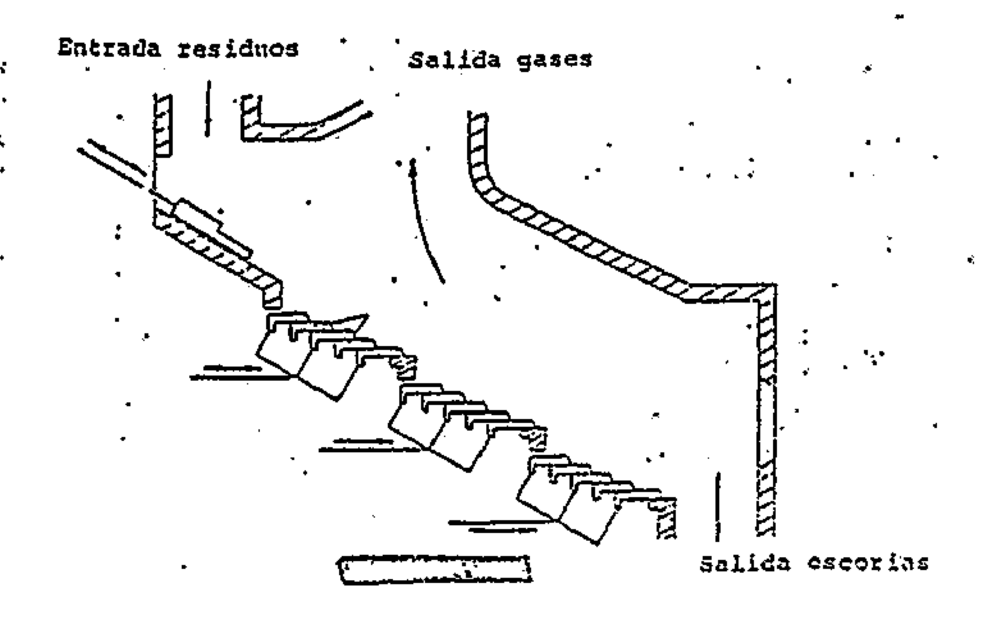


Figura 5.11.2. - PARRILLAS ALTERNATIVAS

En las parrillas de giro angular las piezas refractarias tienen una sección en forma de sector circular y se mueven girando alrededor del centro geométrico de giro. (Figura 5.11.3.).

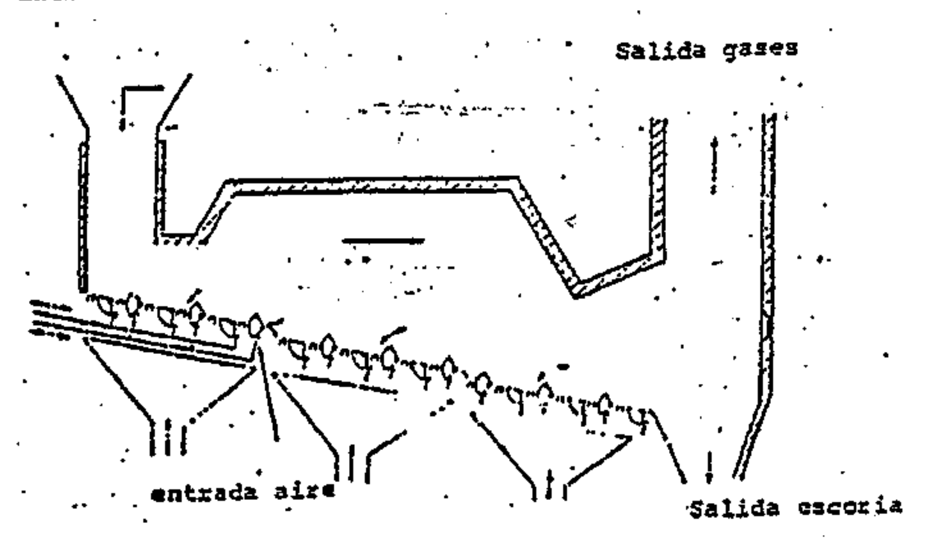


Figura 5.11.3. - PARRILLAS GIRO ANGULAR

Las parrillas giratorias son un conjunto de piezas refractarias que agrupadas forman un cilindro. Los diferentes cilindros son tangentes y giran en el mismo sentido provocando el avance y volteo de los residuos mientras se queman. (Figura 5.11.4.).

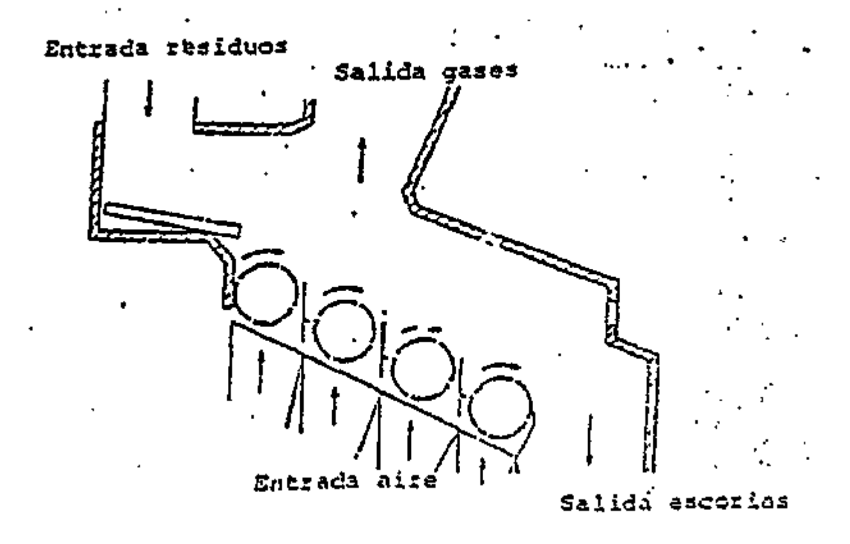


Figura 5.11.4. - PARRILLAS GIRATORIAS

Finalmente, las parrillas de inercia no tienen elementos individuales, sino que todo el conjunto de parrillas forman una estructura que se mueve en vaivén como un todo provocando un golpeo o frenado que hace avanzar los residuos.

Estos hornos consisten en un cilindro metálico con material refractario en el interior, que gira sobre pequeños rodillos de apoyo. Mediante este sistema los residuos son perfectamente volteados, avanzando en el interior del horno según se queman. (Figura 5.11.5.y 5.11.6.).

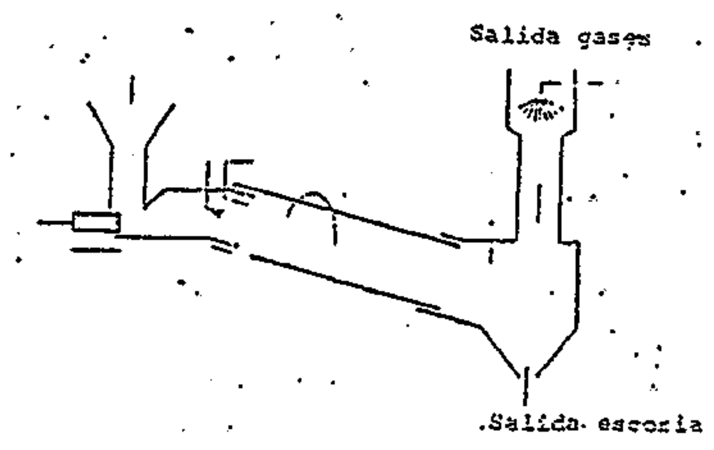


Figura 5.11.5. - HORNO ROTATORIO

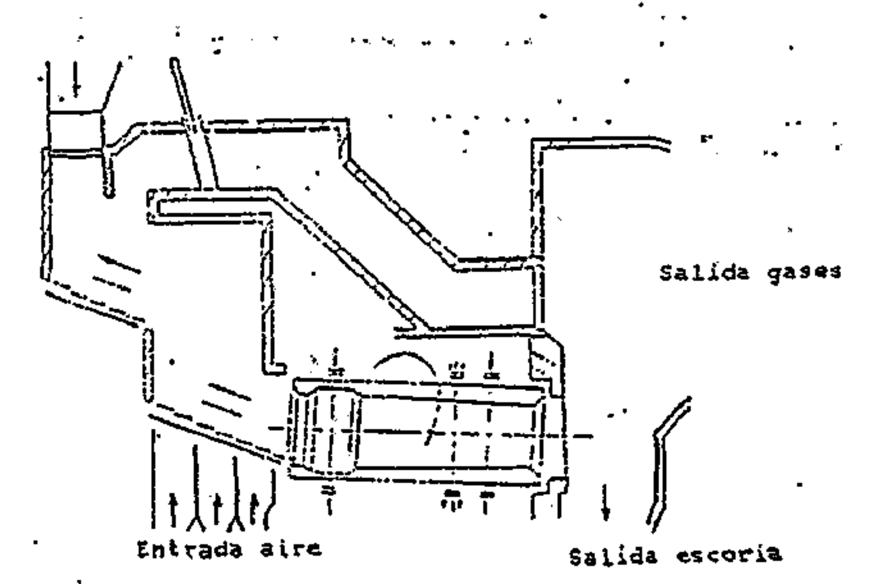


Figura 5.11.6. - HORNO DE PARRILLAS Y HORNO ROTATORIO

La cámara de combustión opera en continuo con flujo en contra corriente de sólido y gas. En los procesos endotérmicos, el aire es precalentado por un flujo de gases calientes o por vapor producido por calderas, que igualmente utilizan residuos como combustible, reduciendo así el consumo de combustible auxiliar. Por otra parte, los gases calientes de la combustión se suelen utilizar en este sistema para generar vapos saturado, sobresaturado o agua caliente.

El horno rotatorio es complementado por unas cámaras especiales donde se ultima la combustión de los residuos.

Finalmente, cuando los residuos son incinerados en suspensión (o por lecho fluidizado), son transportados neumáticamente después de su trituración, e inyectados en el horno. En éste, debido a la inyección de los residuos se produce un torbellino descendente, quemándose éstos en su descenso. Los posibles restos sin quemar, finalizan su proceso de combustión en las pequeñas parrillas de fondo.

Este proceso es relativamente fácil de controlar, teniendo un mayor rendimiento de combustión (debido a que maneja producto triturado) y exigiendo menor porcentaje de aire en exceso, lo que implica un menor

volumen de gases a tratar.

11.3. OTRAS ETAPAS IMPORTANTES EN EL PROCESO DE INCINERACION DE RESIDUOS

Estas etapas son:

- Acondicionamiento de gases y recuperación de energía.
- Depuración de los gases de combustión.

Los gases procedentes del hogar de combustión se encuentran a una temperatura demasiado elevada para ser introducidos en cualquier dispositivo de depuración de los mismos. Por esta razón deben ser enfriados antes de ser depurados. La temperatura a la entrada de los equipos de depuración ha de ser de 250-300ºC, ya que a temperaturas inferiores los problemas de corrosión pueden ser importantes.

Para enfriar los gases se siguen los siguientes procedimientos:

Sin recuperación de calor:

- Dilución con aire.
- Inyección de agua.
- Método Mixto (aire + agua).
- Intercambio térmico.

Con recuperación de calor:

- Calderas de recuperación.

La recuperación del calor contenido en los gases de combustión se realiza fundamentalmente con la ayuda de las calderas de recuperación. Esta energía calorífica puede ser enseguida utilizada en un circuito de calefacción o empleada en la producción de energía eléctrica.

El calor de los gases es transferido al fluido agua-vapor de la caldera, siguiendo los principios físicos de transmisión de calor, es decir: conducción, convección y radiación.

El intercambio de calor en las calderas se realiza en tres fases. En la primera etapa el agua de aportación se calienta hasta un punto ligeramente inferior a la temperatura de vaporización. Esta primera etapa se realiza en el economizador, que se sitúa en la salida de los gases hacia los dispositivos de captación de cenizas volantes, donde la temperatura es de unos 250-300ºC.

La segunda fase a presión y temperaturas constantes, es la fase de vaporización que se realiza en haces tubulares.

La tercera fase es la de recalentamiento del vapor saturado, realizada en los recalentadores.

El aprovechamiento del calor puede responder a diversos esquemas de los que se van a enumerar los más importantes.

El vapor o el agua caliente a baja presión generado en el incinerador es alimentado a una red comunal o industrial de vapor o agua caliente. Como la demanda suele sufrir importantes variaciones, este sistema suele ir asociado a una central convencional de tal forma que la planta de incineración suministra la producción básica y la central convencional se adapta a la demanda de cada situación.

Una variante del método anterior incorpora una turbina que proporciona energía eléctrica para el funcionamiento de la planta de incineración, destinando a continuación el vapor a la red comunal.

Si no es posible el suministro de vapor a una red de tipo municipal o industrial, el vapor se conduce a una turbina de vapor que, asociada a un alternador, producirá la correspondiente energía eléctrica. El agua condensada se conduce nuevamente a la caldera. Es evidente que la distribución de la energía eléctrica producida es casi siempre posible, si bien, debemos añadir que la incineración económica será mayor.

La incineración de residuos trae consigo la emisión de los productos residuales de toda combustión, gases y partículas, emitidos a la atmósfera por medio de chimeneas.

CARACTERISTICAS DE LAS PARTICULAS EMITIDAS

Temperatura del gas ºC	Carga de partículas g/m^3	Densidad de partículas g/m^3	grs. emitidos/ Kgs. quemados
120 - 180	0,2 - 2 al 12% CO_2 media 0,8	1,8 - 3,8	8,5

Tabla 5.11.1.

CARACTERISTICAS DE LOS GASES EMITIDOS

Nombre del gas	Concentración	Grs. emitidos Kgs. quemados
Amoníaco NH_3	30	0,15
Aldehidos HCHO, ...	1- 50	0,15
Monóxido de Carbono CO	100-4.000	0,50
Hidrocarbono HC	50- 250	0,15 C_6H_{14}
Oxidos de Nitrógeno NO_x	20- 100	1,0
Acidos orgánicos CH_3-COOH	15	0,3
Oxidos de azufre SO_2	36	1,0

Tabla 5.11.2.

Estos gases de combustión tienen que ser enfriados previamente para pasar a instalaciones de depuración. Para eliminar las partículas se emplean filtros de mangas, ciclones, multiciclones y precipitadores electrostáticos. Para eliminar la contaminación química de los gases se emplean lavadores húmedos, generalmente con soluciones de lavado alcalinas, tipo "scrubbers". No se detallan estas instalaciones de depuración

de gases por corresponder al apartado dedicado a la contaminación atmosférica de este manual de Ingeniería Ambiental.

11.4. DESCRIPCION DE UNA CENTRAL DE INCINERACION TIPICA

De acuerdo con el esquema adjunto, que representa la estructura de una central de incineración típica, se puede estudiar la localización de las distintas unidades que integran la planta, así como el itinerario que siguen los residuos y sus subproductos en dicha planta. (Figura 5.11.7.)

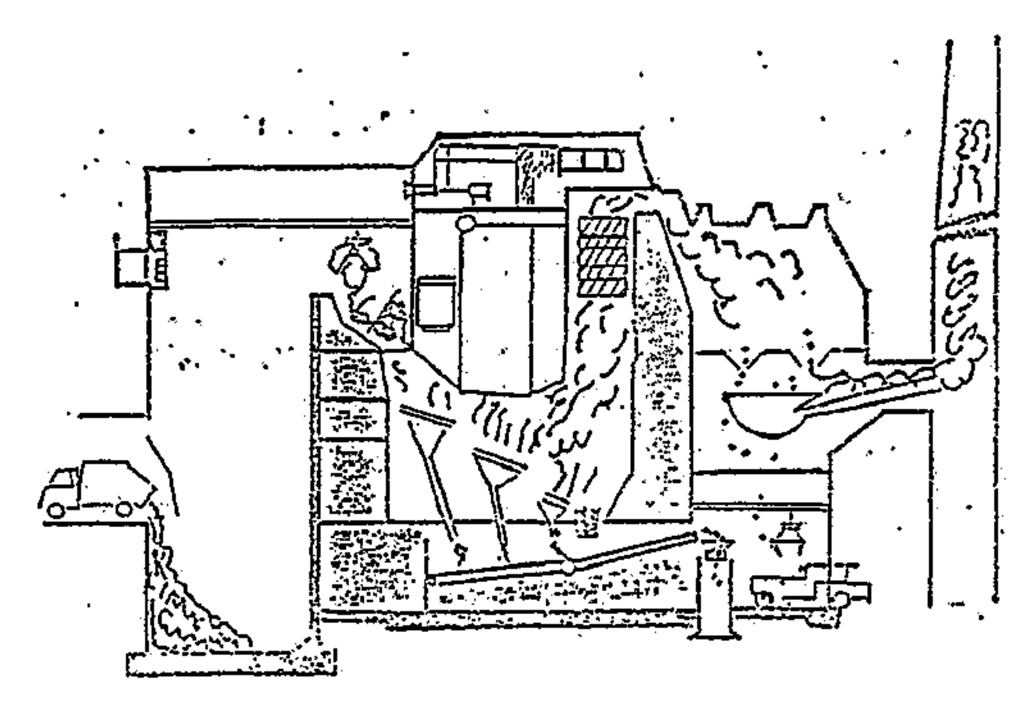


Figura 5.11.7.

Los camiones llenos de basura recogida en la ciudad llegan a la Central Incineradora y son pesados en una báscula-puente a su entrada en la misma, de donde pasan al cobertizo de descarga, donde se encuentran las puertas basculantes a través de las cuales vuelca la basura en el foso de recogida.

En el foso se encuentran dispuestas dos grúas puente con cuchara, una de las cuales es suficiente para realizar el servicio de transporte de la basura desde el foso hasta las bocas de carga de los hornos. La otra grúa actúa sólo como reserva en caso de avería de la primera.

La incineración de la basura tiene lugar en los altos hornos. La basura, como se ha indicado, se introduce por las bocas de carga, de donde pasa a un recipiente que se denomina pozo de carga, debajo del cual se dispone un vibrador para la distribución uniforme de las basuras sobre el primer emparrillado. El pozo de carga sirve a su vez de cierre hermético que separa el interior del horno de lanave del foso.

El horno encierra tres parrillas sobre las cuales tiene lugar la incineración de las basuras. La primera de las parrillas tiene por objeto desecar la basura introducida, eliminando la humedad excesiva de las mismas. La parrilla intermedia tiene por objeto iniciar la combustión de la basura, que finaliza en la tercera parrilla.

La disposición de las parrillas escalonadamente y con un desnivel determinado, junto al accionamiento hidráulico de ciertas piezas de las mismas, que son móviles, implica un movimiento descendente de las basuras en combustión. Este accionamiento se adapta a la carga existente sobre las parrillas, y permite al mismo tiempo, la regulación eficaz de la capacidad del horno, mediante la variación progresiva del avance de las basuras, según lo requieran la composición, el peso específico, el poder calorífico y la cantidad de las mismas. Asímismo este accionamiento impide cualquier bloqueo de las basuras en su camino descendente.

Los elementos de las parrillas son de acero cromo-niquel-molibdeno, y su resistencia al descascarillado tiene que ser proyectada para soportar temperaturas de hasta 1.100 ºC.

La introducción de aire primario en los hornos tiene lugar por la parte inferior de las parrillas y procede del foso, siendo impulsado mediante un ventilador, calentado mediante un precalentador de vapor y pasando a continuación por un precalentador de humos, que eleva su temperatura hasta 220 ºC. Cuando la carga térmica de los hornos resulta excesiva, entonces el aire primario es complementado con aire a la temperatura ambiente mediante el ventilador secundario.

Los humos producidos en los hornos pasan a través de las calderas, diseñadas especialmente, con el fin de enfriar los mismos, antes de atravesar los electrofiltros, que precipitan las partículas sólidas, saliendo por la chimenea impulsados por el ventilador de tiro.

Las escorias que se obtienen al final de la parrilla de fin de combustión, caen al agua del canal de evacuación, donde desembocan también las bocas de descarga hidráulica que recogen las partículas de los electrofiltros. Todos estos conductos desembocan sumergidos en el agua del canal de evacuación y, por tanto, cualquier posible escape de polvos y olores se impide con máxima eficacia.

Los materiales depositados en el canal citado se extraen mediante un sistema de cadenas, que se arrastran sobre el fondo del mismo, las cuales los conducen al foso de escorias, de donde se sacan mediante una grúa de cuchara, y se depositan en camiones.

Para acabar esta descripción cabe señalar la existencia de un quemador auxiliar de fuel, a emplear en el supuesto de que las basuras introducidas en el horno sean muy húmedas, y con un poder calorífico inferior menor de 1.000 Kcal/Kgr.

11.5. RECUPERACION DE ENERGIA Y COSTES DE INVERSION Y OPERACION

Para poder estudiar los costes de aplicación, se incluye a continuación el estudio detallado de costes para un ejemplo de una incineradora de tipo medio (175 toneladas/día de basuras).

- Datos básicos:

Volumen basuras a quemar:	350 m^3/día	
Densidad media:	0,5 m^3/T	
Cantidad basuras a quemar:	175 T/día	
Composición media basuras:	Material secado al aire	% en peso
	Cribado 0:5 mm.	10,10
	Cribado 0;10 mm.	11,75

Material secado al aire	%en peso	(continuación)
Papel-cartones	23,65	
Trapos	1,60	
Madera-Paja	1,95	
Verdura-fruta	37,45	
Huesos	1	
Plásticos	2,30	
Piel-plumas	0,10	
Carne-grasas	1,15	
Metales	3	
Vidrio-porcelana	5,95	
Contenido en humedad	30-40 %	
Poder calorífico inferior	1.500 Kcal/Kgr.	

- Características de los residuos producidos.

EMISION DE HUMOS

Residuos sólidos < 1.2 gr/1.000 Kcal

Indice opacimétrico < 6 (escala Bacharach)

Concentración SO_2 < 0,25 % volumen

AGUA DE LAVADO

Color y olor inapreciable

Temperatura: 300 ºC máximo

Residuos flotantes: ninguno.

Sus. sólidas suspensión sedimentables: 30 mg/1 en 24 horas máximo.

Sales disueltas: 1.500 gr/1 máximo

pH: 6,5 - 8,5

Inexistencia de sustancias germicidas.

- Características de los servicios

AGUA

Caudal: 48 m^3/h

Presión efectiva mínima: 3Kg/m^2

ENERGIA ELECTRICA

Baja tensión: 220.380 V, 50 períodos. Toma para 350 Kw.

TERRENO

Zona Urbanizada con alcantarillado comunal.

Resiste presión de 1,2 Kg/cm^2 a una profundidad no superior a 2m. (sin rocas, Superficie: 3.000 m^2)

- Características de la planta

La planta está integrada por las siguientes unidades:

a) Recepción de basuras y carga del horno.

b) Horno (dos unidades).

c) Planta de tratamiento de humos.

d) Servicios exteriores.

e) Equipos auxiliares.

Los datos característicos de cada horno son:

Capacidad:	100 T/día
Cenizas residuales:	10-30 %
Temperatura de combustión:	900-1.000 ºC
Consumo medio combustible:	63 Kgs. de fuel-oil de bajo contenido en azufre por tonelada de despedicios

Este consumo adicional de fuel-oil es debido, por una parte al encendido inicial y, por otra, a la heterogeneidad de los desperdicios que puede hacer necesario un aumento de la temperatura de combustión en un momento dado debido al bajo poder calorífico del combustible.

La temperatura de llama ha de ser superior a 700-800 ºC para evitar malos olores e inferior a 1.100 ºC debido al bajo punto de fusión de las basuras.

- Costes de inversión

Los costes totales de inversión, incluido transporte y montaje, puesta en marcha, impuestos ITE y ARP, ascienden a la cantidad global de 140 millones de pesetas.

- Costes de operación

DATOS BASE

Media de días de trabajo al año: 300

Toneladas de basura anual a tratar: 53.500

CONSUMO ENERGIA ELECTRICA

Potencia instalada: 300 Kw

Potencia consumida: 250 Kw

Consumo Energía Eléctrica: 250 Kwh/hora

Coste Kwh: 1,70 pts/Kwh

Coste horario: 425 pts/hora

Coste por tonelada de basura tratada: 53 pts/t.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Características de las basuras:

. PCIU: 1.500 Kcal/Kg

. Humedad: 35%

. Contenido en cenizas: 25%

. Exceso de aire: 50%

El consumo de combustible (fuel-oil Bajo contenido en azufre) es de alrededor de 63 Kg/T de basura tratada.

Coste fuel-oil (Bajo contenido en azufre): 7,50 pts/Kg.

Coste por tonelada de basura tratada: 473 pts/T.

CONSUMO DE AGUA

Consumo: 2-2,5 m^3/T. de basura tratada.

Coste agua: 12 pts/m^3

Coste por tonelada de basura tratada: 30 pts/T.

PERSONAL

3 relevos de 8 horas con dos operarios por turno.

Total: 6 operarios

Coste anual por operario: 750.000 pts.

Coste anual total: 4.500.000 pts.

Coste por tonelada de basura tratada: 86 pts/T.

MANTENIMIENTO

El mantenimiento anual se estima en el 2% del coste total de inversión:

2% de 140.000.000 = 2.800.000 pts.

Coste por tonelada de basura tratada: 54 pts/T

COSTES TOTALES DE OPERACION

Coste por tonelada: 696 pts/T

Costes totales anuales: 36.540.000 pts/año

- <u>Costes de amortización del capital</u>

La inversión total de 140.000.000 puede desglosarse en la forma siguiente:

- Maquinaría, montajes, etc. .... 90.000.000 pts.
- Obra Civil .... 50.000.000 pts.

De las cifras anteriores y considerando que la amortización de las instalaciones mecánicas debe hacerse a un plazo máximo de 15 años y la de la obra Civil a 40 años, se tendrán los costes anuales de amortización siguientes:

- Maquinaria: 6,66 % de 90.000.000 .... 5.994.000 pts/año
- Obra Civil: 2,5 % de 50.000.000 .... 1.250.000 pts/año

TOTAL .... 7.240.000 pts/año

- <u>Costes totales anuales</u>

Costes operación + Costes amortización = 43.780.000 pts/año ≃ 834 pts/T.

12.1. INTRODUCCION

Además de los procesos de obtención de "compost" e incineración con recuperación de energía, existen otros muchos procesos, más o menos desarrollados en la actualidad, para la transformación de los residuos, ya sean urbanos, agrícolas o industriales.

Entre los procesos más importantes pueden citarse:

- Pirólisis.
- Hidrogenación.
- Oxidación.
- Hidrólisis.
- Degradación biológica.
- Digestión anaerobia.

Se indican, a continuación, algunas de las características fundamentales de los procesos citados.

12.2. PIROLISIS

La pirólisis se define como la descomposición de las sutancias orgánicas a altas temperaturas (550-1.100ºC en ausencia de aire (oxígeno).

Los productos obtenidos por la aplicación de este proceso a los residuos sólidos urbanos son coque, alquitrán, aceites ligeros, ácidos orgánicos y alcoholes, gases e inertes, los cuales pueden ser usados como combustibles del proceso o separados y utilizados como productos independientes.

Si bien la pirólisis aplicada a los residuos sólidos urbanos es un proceso nuevo que se encuentra aun en fase de investigación y desarrollo, como tal proceso era conocido ya en el antiguo Egipto donde pirolizaban madera para obtener carbón vegetal y alquitrán de madera y ácidos piroliginosos que eran utilizados en las técnicas de ambalsamamiento.

Durante muchas décadas y quizás siglos, la destilación destructiva (pirólisis) de la madera que la mayor fuente de carbón vegetal, ácido acético, metanol y acetona.

A partir de la I Guerra Mundial los procesos sintéticos resultaron ser económicamente más viables y la pirólisis quedó más o menos olvidada.

Actualmente se utiliza de nuevo para producción de carbón activado, coque y vainilla, este último producto es obtenido de la pirolisis alcalina del ácido sulfúrico de la lignina procedente de las lejías residuales de la industria de pasta y papel.

Las ventajas del proceso de pirólisis aplicado a los residuos urbanos son las siguientes:

- Reduce el volumen de materia orgánica en más del 90%.

- Opera con plásticos, gomas, caucho, etc., productos que crean serios problemas en la incineración y

cuyos procesos de recuperación aún no están suficientemente investigados.

- Convierte la mayoría de los componentes orgánicos de los residuos urbanos en compuestos de viabilidad económica demostrada.

- No contamina las aguas, cuando el proceso opera en circuito abierto.

- Los costos de operación estimados son bajos.

- El espacio requerido es semejante al utilizado por incineración y mucho menor que el requerido para vertido controlado o compostaje.

- Puede ser utilizado en el interior de las áreas urbanas, lo que trae consigo una considerable reducción en el coste del transporte de los residuos.

- Produce combustibles que pued3n ser utilizados de manera inmediata en hornos y quemadores convencionales y si bien su poder calorífico es menor que el de los combustibles fósiles convencionales, existe una buena relación económica entre la eliminación de los residuos y su utilidad económica.

Mientras que la combustión con aire es altamente exotérmica, la pirólisis de material orgánico al igual que los procesos de destilación, es endotérmica. La alta temperatura y la ausencia del oxígeno en la pirólisis de los residuos sólidos da lugar a una descomposición química de los materiales orgánicos en tres grandes grupos:

- Un gas (hidrógeno, metano, dióxido de cargono, monóxido de carbono y otros).

- Un líquido -a temperatura ambiente- conteniendo compuestos orgánicos tales como: ácido acético, acetona y metanol.

- Un coque, consistente en carbón e inertes (vidrio, metal y materiales inorgánicos).

Durante el proceso se realizan cambios no sólo en carácter químico sino también físico, así los plásticos se derriten, los materiales celulósicos y la madera aumentan su porosidad e hinchamiento, etc.

El tipo y características de los productos finales dependen del calor aplicado y de la temperatura final alcanzada. Si esta se incrementa, los productos secundarios se descomponen más, aumentando el contenido de hidrógeno en su estructura. Al mismo tiempo el residuo va formando una especie de grafito tanto en su composición química como en su estructura física. Los productos resultantes vienen condicionados por las características de las fracciones orgánicas alimentadas. Además de los factores ya citados, los productos finales se ven afectados por la densidad del material y el tipo de equipo o sistema utilizado. Entre ciertos límites estas variables ofrecen un mecanismo de control de la cantidad y tipo de productos que debe ser tenido en cuenta al considerar la comercialización de los mismos.

Los ensayos en plantas piloto de pirólisis -o destilación seca en ausencia de aire- se han aplicado a residuos agrícolas, forestales, restos de neumáticos y residuos urbanos, y, muy especialmente, a los ricos en plásticos.

Los residuos procesados se han investigado por separado en tres grupos:

- Residuos brutos (con humedad).
- Residuos brutos (secos)
- Residuos tratados.

Los residuos tratados han pasado previamente por un molino de martillos y un separador magnético.

En la Tabla 5.12.1. pueden verse los análisis medios de los tres citados grupos.

ANALISIS DE LOS RESIDUOS URBANOS UTILIZADOS EN PIROLISIS

	Húmedos	Secos	Residuos Tratados
Humedad (%)	43,3	4,9	42,3
Materia Volátil (%)	43,0	76,3	44,3
Carbono fijo (%)	6,7	11,6	5,6
Cenizas (6)	7,0	7,2	7,8
TOTAL	100,0	100,0	100,0
Hidrógeno (%)	8,2	7,2	7,6
Carbono (%)	27,2	47,6	27,2
Nitrógeno (%)	0,7	2,0	0,8
Oxígeno (%)	56,8	35,7	56,5
Azufre (%)	0,1	0,3	0,1
Cenizas (%)	7,0	7,2	7,8
TOTAL	100,0	100,0	100,0
Poder calorífico por Kg. de residuo (Kcal/Kg)	2.679	2.947	4.934

Tabla 5.12.1.

La planta piloto consiste básicamente en un horno eléctrico, retorta de acero cilíndrica, condensador y lavador de gases para recuperación de productos, y medidores de gas y equipos de control y toma de muestras.

En la Figura 5.12.1., se presenta esquemáticamente el diagrama de bloques del proceso.

El horno eléctrico tiene 66 cm. de diámetro interior y 122 cm. de profundidad, siendo calentado por resistencias de cromo-níquel distribuidas en la pared. La retorta tiene 46 cm. de diámetro y 66 cm. de profundidad. Los gases y vapores salen de la retorta a través de una tubería de 3 cm. de diámetro y son conducidos a un separador de gases refrigerado por aire frío, donde los alquitranes y aceites pesados son recogidos. Los gases y vapores son enfriados a temperatura ambiente en dos condensadores refrigerados por agua y conectados en serie donde son recogidos los aceites pesados restantes y otros licores.

Las trazas finales de aceites pesados son extraidos mediante precipitadores electrostáticos. Los gases pasan a través de lavadores de gases, en las que el amoniaco es eliminado con ácido sulfúrico y el dióxido de carbono e hidrógeno con solución de hidróxido sódico. Los gases pasan a continuación por dos gasómetros, uno de gran escala, por el que pasa el 99% de los gases y otro conectado al anterior de pequeña escala por el que pasa el 1% restante, estos últimos pasan a un condensador, inmerso en acetona y dióxido de carbono sólido, siendo recogidos los aceites ligeros. El aceite ligero recuperado se calcula en base a la total producción de gas. El gas procedente del condensador pasa a un medidor de gases de pequeña escala y a un contenedor de gases. Los gases en exceso del medidor de gases son quemados.

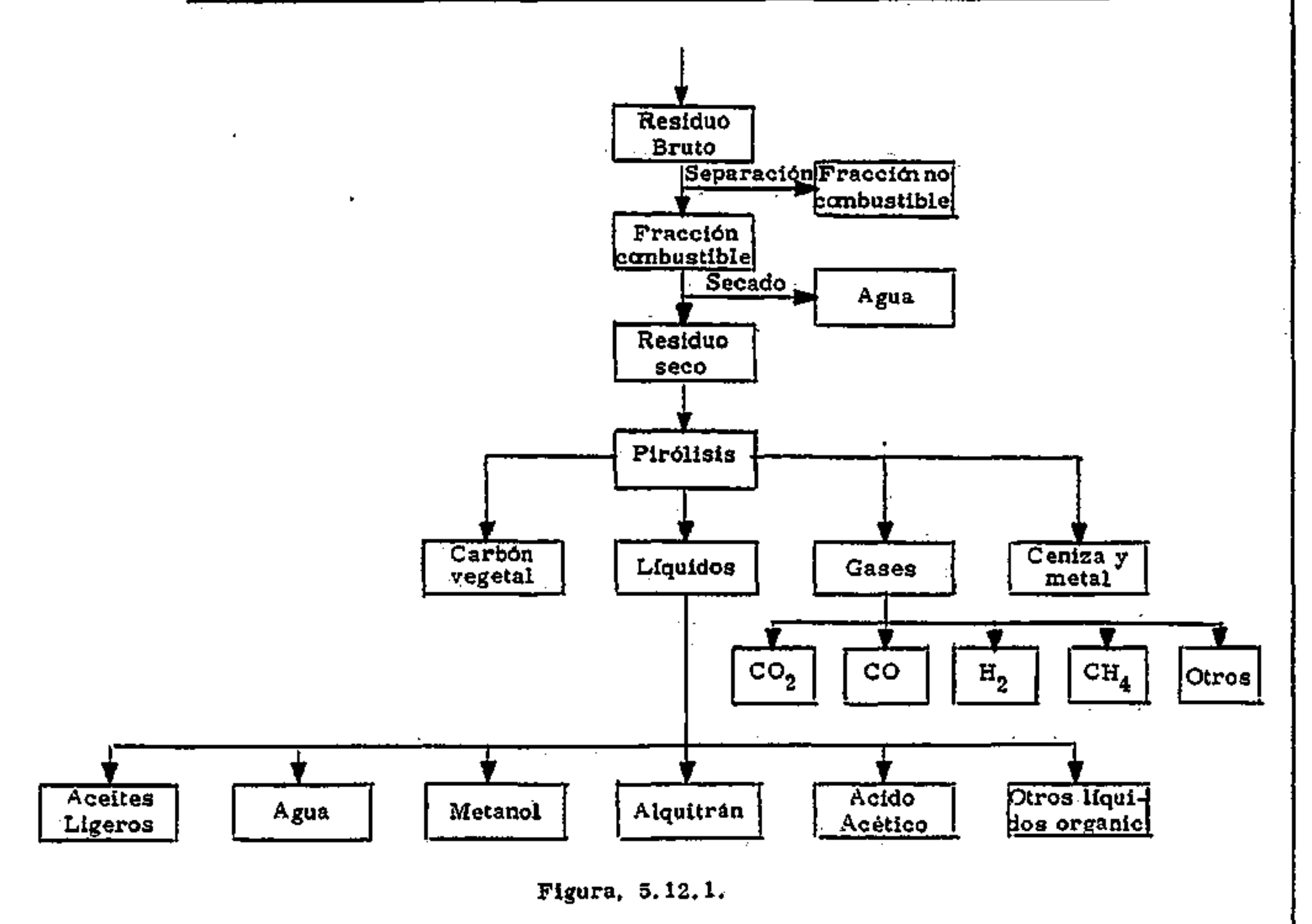
Los ensayos tienen una duración entre 6 y 12 horas según el tipo de material a investigar y la temperatura de operación.

La retorta es cargada con material que oscila entre 36 y 24 Kgs. por carga y cuyas densidades varían entre 0,385 y 0,255 Kg/cm^3 respectivamente. Una vez cargada, la retorta se sitúa dentro del horno de pirólisis, que ha sido precalentada a 50ºC por encima de la temperatura prevista de operación, para permitir las pérdidas de calor en carga.

La pared de la retorta es mantenida a temperatura constante (± 5º) por un control automático activado por un termopar.

En la planta piloto de la U.S.B.M. se realizan pirólisis a dos temperaturas (750 y 900 ºC) para determinar el efecto de la temperatura en la producción y calidad de los productos obtenidos.

ESQUEMA DE TRATAMIENTO POR PIROLISIS DE LOS RESIDUOS URBANOS



Figura, 5.12.1.

Los productos obtenidos de la pirólisis pueden clasificarse en:

- Residuo sólido carbonoso (carbón vegetal).
- Residuo sólido inerte (cenizas y escorias metálicas).
- Aceites ligeros.
- Fracción líquida (alquitrán y otros productos orgánicos).
- Fracción gaseosa.

En la Tabla 5.12.2. se presentan las cantidades de productos obtenidos a partir de una tonelada de residuos urbanos por pirólisis a 900ºC y presión normal.

PRODUCTOS DE LA PIROLISIS

PRODUCTOS	CANTIDAD/TM DE RESIDUO
Fracción gaseosa	500 m^3
Aceites ligeros	65 litros
Fracción líquida	125 litros
Residuos sólidos	70 Kgs.

Tabla 5.12.2.

ANALISIS QUIMICOS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS URBANOS

Tipo de residuos	Temperatura de Pirólisis ºC	Medidas en porcentaje									Poder calorífico (Kcal/Kg)
		Humedad	Materia volatil	Carbono Fijo	Cenizas	Hidrógeno	Carbono	Nitrógeno	Oxígeno	Azufre	
Residuos brutos (humedad)	750	2,2	7,4	51,4	41,2	0,8	54,9	1,1	1,8	0,2	4.450
	900	1,0	4,7	31,7	63,6	0,3	36,1	0,5	0	0,2	2.920
Residuos tratados	750	1,3	13,4	34,6	52,0	0,8	41,9	0,8	4,4	0,1	3.370
	900	1,2	3,3	53,5	43,2	0,5	53,4	0,7	1,8	0,4	4.490

Tabla 5.12.3.

ANALISIS DE LOS GASES DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS URBANOS

Pirólisis de residuos brutos (húmedos)	Residuos Brutos		Residuos Tratados	
(% en volumen)	750 (ºC)	900 (ºC)	750 (ºC)	900 (ºC)
Hidrógeno	30,8	51,9	25,3	42,4
Monóxido de Carbono	15,6	18,1	25,1	20,1
Metano	22,5	12,7	17,6	13,9
Etano	2,0	0,1	2,0	0,2
Etileno	7,6	4,7	10,4	7,9
Dióxido de carbono	18,4	11,4	18,2	13,9
Propano	-	-	-	-
Polipropileno	1,5	0,3	0,8	0,1
Otros (1)	1,0	0,8	0,6	1,5
Poder calorífico (Kcal/m^3)	5.010	3.978	5.070	4.540

(1) Otros = Isobutano, butano, butano-1, isobutileno, trans-buteno-1, cis-buteno-1, pentano, pentenos y no identificados.

Tabla 5.12.4.

ANALISIS DE ALQUITRANES DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS URBANOS

Tipo de residuos	Temperatura ºC	Peso específico a 15,6ºC	%en peso de alquitrán seco		Destilado, % con volumen de alquitrán seco					
			Antraceno	Naftaleno	Residuo	Acidos	Bases	Olefinas	Aromaticos	Parafinas y naftenos
Residuos brutos	750	1,115	0,59	3.17	74,8	4,0	2,1	2,8	14,0	0,7
	900	1,077	0,00	0,00	56,0	7,4	4,7	5,6	21,7	4,6
Residuos tratados	750	1,101	trazas	trazas	63,1	4,9	6,3	6,0	17,9	1,8
	900	0,974	0,00	0,00	62,9	5,2	3,7	7,0	17,5	3,7

Tabla 5.12.5.

ANALISIS CROMATOGRAFICOS DE ACEITES LIGEROS DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

Productos en %	Residuos Brutos		Residuos Tratados	
Temperatura en ºC	750ºC	900ºC	750ºC	900ºC
Prebenzeno	3,70	0,80	6,74	0,79
Benzeno	78,47	73,39	85,18	92,10
Tolueno	14,06	12,25	11,54	3,82
Etilbenceno	0,31	0,02	0,14	trazas
M, -P Xileno	0,65	2,84	0,47	0,67
0 -Xileno	0,20	0,81	0,20	0,16
No identificados	2,61	9,89	1,73	2,45

Tabla 5.12.6.

Las conclusiones que pueden sacarse de las anteriores Tablas son las siguientes:

- La producción de alquitrán y aceites ligeros se triplica para residuos secos, mientras que los licores residuales se reducen en el mismo orden.

- No existen diferencias notables entre las cantidades de los productos recuperados de residuos tratados, (esta conclusión sería notablemente diferente para el caso de los residuos españoles con un alto porcentaje en materia orgánica).

- La producción de gas se duplica, cuando se opera a 900ºC.

- El poder calorífico de los residuos sólidos del proceso disminuyen y aumentan respectivamente para los residuos brutos y tratados, debido a las variaciones de contenido en carbón fijo.

- La reducción en peso de los residuos sólidos a la entrada y a la salida del proceso es del 90% para los residuos brutos y del 80% para los tratados.

- El poder calorífico de los gases por tonelada tratada, aumenta con la temperatura.

- Los constituyentes más importantes de los gases son: hidrógeno, monóxido y dióxido de carbón, metano y etileno (entre el 95,5 y el 98,8% del gas total).

- Aproximadamente $0,55 \cdot 10^6$ Kcal son requeridas para pirolizar una tonelada de residuos a 900ºC, el gas producido tiene un poder calorífico a esa temperatura de unos $2,22 \cdot 10^6$ Kcal por tonelada de residuo, lo que significa un exceso de $1,65 \cdot 10^6$ Kcal/t respecto a los requerimientos del proceso.

- Los alquitranes están constituidos principalmente por aromáticos (14-21,7%) y cantidades menores de olefinas, parafinas y naftenos.

-

- Los aceites ligeros tienen como componentes principales, el benzeno y el tolueno (85-97%).

- Los licores residuales con contenidos en agua entre el 91,5 y el 100%, tienen como componentes adicionales, compuestos orgánicos identificados como ácidos, cetonas y aldehidos conteniendo entre uno y ocho átomos de carbono; estos productos pueden ser recuperados por sucesivos tratamientos químicos.

Los tipos de procesos actualmente en desarrollo pueden subdividirse en dos categorías: de alta temperatura y convencionales y estos a su vez pueden ser productores de combustibles gaseosos o líquidos.

Ejemplos de los citados procesos son:

Alta temperatura
- Sistema Torrax
- Sistema U.R.D.C.

Convencional
- Sistema Landgar-Monsanto
- Sistema Austin
- Sistema Garret

Los dos sistemas citados de alta temperatura se diferencian de la incineración a alta temperatura en tres puntos:

- La temperatura es algo mayor en los primeros,

- los gases producidos son quemados por separado del residuo combustible en un quemador posterior, mientras que en incineración los gases son consumidos con los residuos, y

- la recuperación de calor por combustión de gases es más eficiente en la pirólisis.

En el reactor de pirólisis, el aire conducido en tubos de material especial es calentado por los gases de combustión circundante a temperaturas de 1.100 ºC. Este aire caliente sirve para oxidar los residuos carbonosos de pirólisis alcanzando temperaturas de 1.650ºC. El calor producido sirve para derretir las escorias y producen la pirólisis de los residuos cargados en el reactor.

Se dispone de muy pocos datos sobre el coste de la pirólisis. En la Tabla 5.12.7. se recogen algunos cálculos económicos (en pesetas de 1977) aplicados al caso de la pirólisis de residuos urbanos, obtenidos por extrapolación a partir de datos conseguidos en planta piloto.

COSTES DE INVERSION Y OPERACION
PIROLISIS DE RESIDUOS URBANOS

Capacidad (t/día)	Estimación costes inversión (pts)	Estimación costes (pts/t)
500	675	1.000
1.500	1.200	500
2.500	1.700	350
5.000	2.800	225

Tabla 5.12.7.

Aunque todavía quedan muchos problemas tecnológicos por investigar y resolver, las perspectivas económicas son favorables. Se trata de uno de los métodos que presenta más porvenir para la transformación de residuos en energía.

Según cálculos del Dr. Mills, Jefe de la División de carbón del USBM, por medio de la pirólisis de los residuos agrícolas se podría abastecer la mitad del consumo de petróleo de los EE.UU. Naturalmente, que no parece factible, por la dispersión de los residuos entre otras causas, alcanzar tal objetivo, pero el dato da idea de la potencialidad del método.

Si se logra una realización industrial adecuada, la pirólisis podrá competir favorablemente con la incineración por diversas razones; entre otras, por no requerir dispositivos de control de contaminación atmosférica, por presentar cosres más bajos y menores condicionamientos de economía de escala, por su mayor rendimiento térmico, en fin, por el más elevado valor de los productos obtenidos que presentan, además, mayores facilidades de distribución.

12.3. DIGESTION ANAEROBIA

El tratamiento de la fracción orgánica de los residuos urbanos mediante bacterias anaeróbicas se ha empleado para transformar la celulosa en una mezcla de gases combustibles, en la que predomina el metano. La fase sólida residual de este proceso tiene aplicación en agricultura, como corrector de suelos.

Las primeras aplicaciones de este método se han realizado sobre la parte sólida de las aguas negras, pero tiene posibilidades de aplicación en la fracción orgánica de los residuos obteniéndose una degradación de la materia sólida celulósica, del orden del 63 por ciento.

Las investigaciones en este campo han de continuarse para poder definir la naturaleza de los equipos mecánicos a emplear, tales como los reactores y la determinación de los tiempos necesarios para obtener la degradación anaeróbica.

El proceso de digestión anerobia es una mezcla de sistemas biológicos, mediante los cuales, los complejos orgánicos, tales como hidratos de carbono, lípidos, prótidos, etc., son utilizados por determinados microorganismos para realizar su proceso metabólico. Los productos finales de esta actividad metabólica son, fundamentalmente: Metano, Anhídrido carbónico, Material celular y una fracción no degradable de naturaleza orgánica.

Heukelekian define en la digestión dos procesos enteramente diferentes; el primero, licuefacción e hidrólisis; el segundo fermentación y gasificación.

Para el primero, es asignada la función de transformar los complejos moleculares en otros que pueden ser absorvidos por los organismos encargados de su fermentación, para obtener como productos finales de ésta el metano y el anhídrido carbónico.

Aunque como decíamos anteriormente, ambos procesos son diferentes, es necesario que su actuación tenga lugar simultáneamente o el resultado final será insatisfactorio.

Buswell y Meller fueron los primeros en dar una respuesta teórica al proceso de fermentación. Según estos autores, trabajando con cultivos mixtos, los complejos orgánicos compuestos por C, H y O se transforman más o menos cuantitativamente en metano y anhídrido carbónico según la siguiente reacción empírica.

$$C_nH_aO_b + (n - \frac{a}{4} - \frac{b}{2})\ H_2O \longrightarrow (\frac{n}{2} - \frac{a}{8} + \frac{b}{4})\ CO_2 + (\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4})\ CH_4$$

Si bien son el metano y anhídrido carbónico los productos finales de la descomposición, el fenómeno tiene lugar en dos etapas principales: Obtención de ácidos orgánicos de cadena corta y transformación de estos ácidos en CH_4 y CO_2.

Dado que es el segundo paso mencionado que condiciona, por su relativa lentitud, la totalidad del proceso, la mayoría de los autores han dado mayor muestras de interés en dicha degradación.

Buswell y Sollo predicen tres caminos principales en dicha transformación: Desprendimiento de hidrógeno y anhídrido carbónico, con posterior reducción de éste, formando metano y agua; reducción directa del anhídrido carbónicl; descarboxilación.

Los estudios, tanto teóricos como experimentales, realizados en la digestión, han demostrado la influencia que ciertos parámetros poseen en el acelaramiento o retraso del proceso y que son, por lo tanto, indicadores del progreso del mismo:

Las condiciones determinantes observadas en el laboratorio son: pH, alcalinidad, ácidos volátiles, nitrógeno, sólidos volátiles y temperatura.

12.3.1. Temperatura

La supervivencia del protoplasma nuclear, en cuanto a temperatura se refiere, oscila entre el cero absoluto y 150ºC aproximadamente. No obstante, su metabolismo y crecimiento tiene lugar en un rango de temperaturas mucho más estrecho, aproximadamente entre -10 y 73ºC. Estas temperaturas extremas, no las soportan la mayoría de las bacterias, en ambos límites, pero se han encontrado diferentes especies tanto en uno como en otro.

Atendiendo a las temperaturas en las que las bacterias desarrollan sus procesos metabólicos, las podemos clasificar en:

- Criofílicas: crecimiento por debajo de 20ºC.
- Mesofílicas: crecimiento entre 20 y 45ºC.
- Termofílicas: crecimiento superior a 45ºC.

En la digestión anerobia de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, suelen predominar las bacterias mesolíticas, por lo que la temperatura idónea será la comprendida entre 20 y 45ºC. Por el contrario, en la digestión anerobia de residuos urbanos predominan las termolíticas siendo el rango ideal de temperatura el comprendido entre 45 y 80ºC.

12.3.2. pH

La importancia del pH en la digestión de la materia orgánica, ha sido ya demostrada en multitud de ocasiones y todos los trabajos hasta ahora realizados están de acuerdo en que la odegradación es óptima para valores del pH que oscilan entre 6,8 y 7,2 lo cual indica un adecuado balance químico en el digestor.

12.3.3. Acidos volátiles

Son unos de los datos más útiles para medir el progreso de la digestión.

Buswell et al. fueron los primeros en dar importancia al comportamiento de los ácidos volátiles como indicativo de la digestión. En sus estudios mostraron que, la acumulación de ácido por encima de 2.000 - 3.000 mg/l como ácido acético, interfiere con una buena digestión.

Lo que parece demostrar la buena marcha de la digestión, es que el aumento en las cantidades de ácidos generados diariamente, no debe exceder de 300-400 mg/l, ya que esto nos indicaría un desequilibrio entre las poblaciones de los dos grupos principales de organismos encargados de la digestión; los productores de ácidos y los productores de metano, a favor de los primeros.

12.3.4. Alcalinidad

Puede considerarse a la alcalinidad, o capacidad de neutralización del sistema, como uno de los factores esenciales en el control del progreso.

La mayoría de los autores consideran que valores de alcalinidad comprendidos entre 2.000-3.000 mg/l como bicarbonato cálcico, son beneficiosos para una buena marcha de la digestión.

De acuerdo con Albertson, un aumento en la alcalinidad en el digestor permite operar a mayores concentraciones de ácidos.

Se estudia someramente, a continuación, la capacidad energética de un sistema de digestión anerobia de residuos urbanos.

En efecto, por digestión anaerobia y considerando una producción media de gas, se obtendrían 275 l/Kg de materia orgánica y admitiendo un contenido medio de metano del 70% se tendrían 172,5 l CH_4/Kg de materia orgánica.

Dado que el poder calorífico del metano es de 8.555 Kcal/m^3, se llegaría a una producción energética de 1.530 Kcal/Kg materia orgánica, equivalente a 1,775 Kwh/Kg materia orgánica seca.

Así para una planta de 150 t/día la producción energética sería (suponiendo un rendimiento del 70%):

150 t x 350 Kg materia orgánica seca x 0,7 x 1,775 Kw (energía térmica)

12.4. DEGRADACION BIOLOGICA

Bajo este término genérico se recoge una serie de métodos biológicos, los cuales, mediante el empleo de microorganismos, pueden transformar las materias celulósicas de los residuos urbanos en glucosa y otros productos orgánicos.

En los Estados Unidos, el Bureau of Mines ha realizado una serie de investigaciones para conocer la viabilidad de descomponer la fracción orgánica de los residuos urbanos mediante las bacterias sporocytophaga myxcocoide. Los costes estimados de tratamiento de los procesos de degradación biológica son altos. Por el momento, esta técnica de transformación parece presentar grandes problemas desde un punto de vista económico.

La degradación biológica ha sido también utilizada en la U. R. S. S. para obtención de proteínas básicas para la alimentación animal.

En el estudio de nuevas fuentes de alimentos ha de tenerse en cuenta no solo el intento de aprovechar materiales que hoy se pierden y representan un elevado potencial nutritivo, sino también substituir el factor espacio-superficie, ya hoy día también muy limitado, por el factor tiempo-velocidad. Con este propósito es necesario pensar en intermediarios que sean capaces de dar una respuesta positiva al factor tiempo, integrando su actividad en el proceso productivo útil para el hombre.

Tales intermediarios los constituyen las bacterias, hongos, algas, lombrices, insectos y otros organismos, que en conjunto poseen como característica a este respecto su prodigiosa velocidad de crecimiento y reproducción como mecanismo de supervivencia de la especie, y por tanto la transformación de cuerpos simples en complejas moléculas, entre ellas las proteínas, que constituyen la base de su estructura. Así según calculos de Thaysen, un bovido de 500 Kg. produce diariamente 0, 5 Kg. (psorrateando la producción en ambos casos a lo largo de su tiempo de desarrollo); sin embargo 500 Kg. de levadura pueden producir en cultivo 50. 000 Kg. de nueva proteina por día.

Todos los microorganismos en generd presentan el inconveniente de que debido a su alta proporción de nucleoproteidos, son especialmente ricos en D N A y R N A y paralelamente en bases puricas y pirimidicas. Este material se encuentra en proporciones que oscilan entre el 8 y 12 % e incluso puede llegar al 15%. Esta circunstancia entraña modificaciones en el equilibrio fisiológico, que puede ocasionar una elevación importante del nivel de ac. úrico en sangre, a pesar del incremento de la excreción de este compuesto. Ello causa la gota y deformaciones artriticas. Las algas ademas poseen una pared celular que dificulta su digestión por los monogastricos..

Estos hechos hacen pensar en la posibilidad de emplear organismos mas complejos como puede ser los insectos y lombrices para el aprovechamiento de los residuos organicos. A ellos se hará referencia con el nombre de <u>macrointermediarios</u> distinguiendolos así de los mencionados anteriormente a los que se ha designado con el nombre de microorganismos.

La fracción orgánica fermentable de los residuos urbanos tiene la siguiente composición aproximada:

Humedad	74, 33 %
Residuo seco	25, 66 %
Composición sobre substancia seca(%)	

Proteina bruta	24, 36 %
Extracto etereo	11, 54 %
Fibra bruta	24, 36 %
Cenizas	32, 55 %
Otros	16, 23 %

Esta fracción representa a priori un medio de cultivo adecuado para las larvas de la mosca común. Su nicho ecológico natural lo constituye el clásico estercolero de pueblo donde van a parar el estiercol de los animales de trabajo, así como las de otros animales de explotación casera y los desperdicios del hogar. En efecto ya Lidner en 1.919 sugirió que estas podrían utilizarse para la producción de proteinas a partir de los desperdicios humanos.

Partiendo de esta idea y con el fin de estudiar las posibilidades de la mosca común como alimento de aves, Calvert y colaboradores en 1.969 la criaron en un medio de cultivo standard. Las pupas obtenidas disecadas y molidas dieron el siguiente analisis:

Principios	Porcentaje
Proteina	63, 1 (x)
Grasa	15, 9
Humedad	3, 9
Cenizas	5, 3
Otros	12, 2 (xx)

(x) Nx6, 25

(xx) Fundamentalmente N no proteico y fibra.

En el mismo trabajo se indican las pruebas de alimentación que desarrollaron con pollos a los que se suministraron dos dietas de iniciación: una que contenía 23% de proteína, de la cual 48% provenia de soja, y otra en la que se substituia esta leguminosa por harina de pupas de mosca disecadas. Ambas dietas eran isocaloricas e isoproteicas. Se hicieron dos experimentos cuyos resultados se indican en la tabla siguiente:

	Dieta con Soja			Dieta con Pupas		
	Ganancia en peso g. /ave	Pienso consumido g. /ave	Relación pienso/ ganancia	Ganancia en peso g. /ave	Pienso consumido g. /ave	Relación pienso/ ganancia
1º	63	108	1:1, 75	62	113	1:1, 82
2º	87(x)	183	1:2, 10	96 (x)	192	1:2, 00

(x) Son significativamente diferentes para P 0, 05.

Las conclusiones del trabajo de estos autores señalan que las pupas de Mosca doméstica proporcionan suficiente cantidad de proteinas para soportar el crecimiento normal de los pollos durante las primeras dos semanas de vida y ellos consideran que la harina de pupas es de mejor calidad que la de soja.

Otro macrointermediario investigado ha sido la lombriz de tierra Ocsinia fostida que actua como transformador del estiercol convirtiendo la materia organica en proteína, que puede ser administrada a los animales domesticos. Según Mcinsay en experimentos por el realizados este anelido puede tener un brillante por

venir para la obtención de productos nutritivos. En pruebas realizadas con ratones, en los que se administraba cascina como suplemento proteico al grupo de control y harina de lombriz al grupo problema, no se encontraron diferencias significativas experimentales en su ganancia de peso. Este autor considera que otros residuos como heces humanas, basuras, restos de forrajes, vegetales de desecho en mercados, fabricas de conservas. etc. pueden ser adecuados para el cultivo de estos macrotransformadores y utilizados posteriormente para la alimentación animal.

La composición porcentual de esta lombriz es:

COMPUESTO	Porcentaje en organismo fresco
Agua	87, 10
Materia seca	12, 90
	Harina de lombriz seca
Agua	7, 05 %
Materia seca	92, 95%
Fibra bruta	3, 00%
Extracto etereo	8, 95%
Cenizas	4, 82%
Proteinas (N x 6, 25	61, 29%

12. 5 HIDROGENACION

La celulosa es el componente más abundante en los resíduos agrícolas y forestales, y en la fracción orgánica de los resíduos urbanos. La hidrogenación de la celulosa contenida en estos resíduos, mediante el empleo de monóxido de carbono y agua a temperaturas de 350 a 400 grados centígrados y presiones próximas a 300 atmósferas, haciendo uso de diversos catalizadores, permite transformarla en productos orgánicos combustibles. El rendimiento por tonelada de resíduos sólidos puede alcanzar los 320 l. de aceites ligeros.

Las investigaciones llevadas a cabo en Estados Unidos, trabajando en un reactor en marcha contínua con capacidad de 500 g/hr, han puesto de manifiesto la posibilidad de convertir cualquier tipo de resíduo orgánico en combustibles líquidos de bajo contenido de azufre.

Se están investigando métodos para reducir el consumo de monóxido de carbono y trabajar a presiones más bajas. El éxito de estas investigaciones permitirá alcanzar costes de tratamiento más bajos, con lo que esta técnica potencialmente puede convertirse en una de las fuentes de combustibles líquidos del futuro.

12. 6. OXIDACION

La oxidación de los componentes orgánicos de los resíduos urbanos, en disolución o suspensión acuosa, mediante el empleo, a presión y temperatura de 220 - 320º C, de agentes oxidantes y oxígeno atmosférico, es una de las técnicas aplicables a la transformación de los componentes orgánicos.

El método consiste en una degradación por oxidación, para obtener compuestos orgánicos sencillos, anhídrido carbónico y agua. El grado de degradación obtenido define la calidad y aplicación de los productos.

El proceso de oxidación en húmedo se aplica principalmente a resíduos ricos en carbono, para su recuperación en forma de productos utilizables, tales como ácido acético, ácido fórmico, ácido oxálico, etc.

El proceso de transformación por oxidación en húmedo ofrece gran interés, por su capacidad de obtención de ácidos orgánicos. Una planta, con capacidad de 50 t/día, de oxidación en húmedo fue instalada en Chicago ya en 1. 950.

12. 7. HIDROLISIS

Entre los procesos químicos, la hidrólisis de los productos celulósicos, ofrece gran interés, sobre todo en el caso de resíduos de alto contenido en celulosa como los procedentes de zonas agrícolas, o la fracción de los resíduos urbanos que queda al separar metales, vidrios, plásticos y materias inertes.

La hidrólisis transforma los resíduos celulósicos en azúcares fermentables, mediante el empleo de ácidos a temperatura elevada. La fermentación de los azúcares obtenidos permite obtener alcohol etílico y ácido cítrico, además de productos integrantes de piensos compuestos y abonos.

La hidrólisis de grandes volúmenes de resíduos agrícolas ha sido realizada en la URSS para la obtención de alcohol y ácido acético, además de un resíduo sólido que se emplea como fertilizante.

La mayor dificultad encontrada para la construcción de plantas de transformación, aplicando esta técnica es la falta de continuidad en las materias primas, a causa del caracter cíclico de la agricultura y de la irregularidad, en consecuencia, para abastecerse de resíduos y excedentes agrícolas.

13. 1. INTRODUCCION

Aúnque los tratamientos que se han desarrollado en capítulos anteriores pueden ser aplicados a todo tipo de resíduos, (urbanos, agrícolas, industriales o mineros), en este apartado van a darse detalles sobre algunas de los procesos de tratamiento de resíduos no urbanos.

Los resíduos que van a citarse a continuación son los siguientes:

- Resíduos agrarios
- Resíduos mineros
- Resíduos procedentes de la industria nucleoelectrica (centrales nucleares)
- Resíduos procedentes de la desulsuración de gases de combustión en centrales térmicas
- Resíduos metalúrgicos
- Resíduos plásticos.

13. 2. RESIDUOS AGRARIOS

Los resíduos agrarios se pueden clasificar en cuatro grandes grupos:

- Resíduos procedentes de la industria de la alimentación. Transformación primaria de productos agrícolas.
- Resíduos ganaderos, producidos en las explotaciones pecuárias.
- Resíduos agrícolas o derivados de la recolección de los productos.
- Resíduos producidos por la intervención de algunos factores de la producción,

Los resíduos producidos en las industrias de la alimentación son los que se indican en la Tabla

En las plantas elaiotécnicas se producen dos tipos de residuos: agua del lavado de las aceitunas y alpechines. Estas aguas tienen una reacción ácida y poseen abundante tierra en suspensión con una DQ0 de 30 gr. (y una DB0 de 19 gr/l). Las materias en suspensión representan 65 gr/l.

El resíduo de la industria cervecera representa 1,4 - 1,6 m^3 por 100 l. de cerveza fabricada que repartiéndose de la siguiente forma:

- Maltería 11%
- Elaboración de cerveza 78%
- Envasado 11%

Los resíduos de mataderos de ganado se originan sobre todo en la matanza propiamente dicha; en el despellejado, en el transporte interno de las reses muertas y en el lavado. Los resíduos contienen sangre, grasa, resíduos orgánicos e inorgánicos, sales y productos químicos añadidos. Los volumenes medios por res muerta, para el ganado vacuno, son los siguientes:

CARACTERISTICAS DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE LA ALIMENTACION

Producto	COD (mg/1)	BOD (mg/1)	BOD/COD media	pH
Remolacha	1800-13200	1200-6400	0,51	5,6-11,9
Judias verdes	100-2200	40-1360	0,55	6,3-8,6
Judias secas	200-600	60-320	0,58	6,5-8,2
Zanahorías	1700-2900	800-1900	0,52	7,4-10,6
Maíz	3400-10100	1600-4700	0,50	4,8-7,6
Guisantes	700-2200	300-1350	0,61	4,9-9,0
Coles agrias	500-65000	300-4000	0,66	3,6-6,8
Tomates	650-2300	450-1600	0,72	5,6-10,8
Manzanas	400-37000	240-19000	0,55	4,1-7,7
Cerezas	1200-3800	660-1900	0,53	5,0-7,9
Uvas	550-3250	330-1700	0,59	6,5-8,2
Vino	30-12000	30-7600	0,60	3,1-9,2

- sangre 22 Kg.
- tripas 22 Kg.
- resto 18 Kg.

La sangre es el resíduo más contaminante, alcanza una BOD 5 de 156.500 mg/l y una COD de 218.300 mg/l; un contenido en humedad del 82% y un pH de 7,3.

En los mataderos de aves por cada 100 Kg de pollo vivo resultan 70 Kg de pollo vaciado y limpio y 30 Kg de resíduos que se distribuyen en :

- 3 Kg de sangre
- 9 Kg de pluma
- 8 Kg de vísceras
- 8 Kg de cabeza y patas.

El peso seco de este resíduo es de 8 a 9 kg. Un análisis del producto muestra los siguientes contenidos:

- Humedad 12%
- proteína bruta 66%
- proteína digestible 56%
- materia grasa 17%
- fibra bruta 2%
- materia mineral 4%

Otras industrias agrarias son las centrales lecheras y las azucareras.

En resumen, partiendo de datos estadísticos de la producción alimentaria en Españ, el volumen de resíduos tiene una equivalencia en unidad habitante de 10.000.000, aproximadamente representa el 20% de los resíduos totales, su reparto es como sigue:

Azucareras 36%
Cerveceras 21%
Elaiotécnicas 19%
Lecheras 8%
Mataderos 7%
Conserveras.................. 6%
Enológicas 3%

La producción de resíduos ganaderos representa en EE. UU. el 74% de los resíduos agrarios llegandose a cifras de producción de estiércol superiores a los 2.000 millones de toneladas/año. Estos resíduos aumentan cada año al no ser eliminados como abonos en su mayor parte. El mayor productor es el ganado vacuno (69,6%) mientras que las aves de corral tienen menos importancia. Se producen cerca de 300 gr. de estiércol cada litro de leche producida y de 6 a 25 Kg de estiércol por Kg de incremento de peso del ganado. Las características del estiércol dependen de la especie, raza, alimentación, manejo del ganado.

Estudios realizados con aves de corral han mostrado la siguiente composición en estiércol húmedo.

Humedad .... 75 a 80%
Sólidos volátiles .... 15 a 18%
Cenizas .... 5 a 7%
Densidad de volumen ... 16 Kg/m^3

En el ganado porcino alrededor del 70% de la comida suministrada es excretado como orina y estiércol.

En las granjas lecheras hay dos tipos de resíduos, el resultante del lavado de la sala de ordeño y el producido por los animales. La producción de estiércol de una vaca lechera es de unos 40 Kg por animal y día, que viene a representar del 7 al 8% de su peso. La orina supone el 30% del peso del estiércol.

El volumen y sobre todo la distribución de los resíduos producidos por el ganado vacuno de carne dependen del tipo de explotación y de alimentación.

Las granjas de terneros de engorde son un tipo de explotación intensiva que consiste en la compra de terneros cuando tienen una semana (peso de 45 Kg) y en la venta de los mismos a los tres meses de edad (peso de 135 Kg). Estos animales son engordados con dietas muy concentradas que incluyen leche y productos lecheros. La producción de resíduos se estima en 7,5 l por cabeza y día y la concentración de BOD de 10000 a 30000 miligramos /litro.

Los residuos agrícolas derivados de las cosechas son principalmente de tres tipos: pajas de cereales y leguminosas, restos de poda y de productos deteriorados, y cáscaras de frutos secos.

Según datos estadísticos del Ministerio de Agricultura, la producción de pajas se distribuye:

Trigo	54,8	X 10^6	Qm/año
Cebada	41,4	"	"
Maíz	13,2	"	"
Centeno	4,5	"	"
Avena	5,5	"	"
Arroz	1,9	"	"
Otros cereales	0,1	"	"
Judías	1,3	"	"
Habas	1,1	"	"
Garbanzos	0,9	"	"
Veza	0,5	"	"
Lentejas	0,4	"	"
Algarrobas	0,4	"	"
Guisantes	0,4	"	"
Otras leguminosas	0,1	"	"
	128,0	"	"

La producción de cáscaras de almendra principalmente asciende a 180.000 tn/año . Más difícil de contabilizar son los restos de poda y los restos de vegetales, tallos y productos deteriorados que quedan sobre el terreno. Globalmente se podrían evaluar sobre los 6.000.000 tn/año.

Otros residuos agrarios son los producidos por las prácticas agrícolas y ganaderas, es decir por los factores de producción. Mención especial merecen los siguientes:

- sacos de fertilizantes
- embases de productos químicos
- polvo producido por los edificios, maquinaria y alimentación animal.
- combustibles derramados
- arrastre y lixiviación de fertilizantes y pesticidas.
- erosión y arrastre de suelo agrícola.

En general, todos los resíduos agrícolas o ganaderas se caracterizan por su elevado contenido en materia orgánica sermentable, por lo que pueden ser tratados por "compostaje" inineración, pirólisis, biodegradación o digestión anacrobia.

13.3. RESIDUOS MINEROS

Se dará previamente una definición de los resíduos de origen minero. Dentro de este grupo se considerará todo tipo de material no líquido ni gaseosos, de origen natural, producido como consecuencia de una operación de explotación minera, que no es útil para el fin principal con que se ha organizado tal explotación.

Por su granulometría, estos resíduos se pueden dividir en dos grandes grupos:

Gruesos

Son aquellos cuyo límite inferior de tamaño es 1 mm. Dentro de este grupo se tendrán:

- Estériles procedentes directamente de la mina, extraídos como sólidos.
- Estériles que componen las monteras de los yacimientos en explotaciones a cielo abierto.
- Estériles procedentes generalmente de tratamientos gravimétricos en plantas mineralúrgicas o de aquellas operaciones que no requieren dividir el mineral bruto en tamaños menores.

Finos

Son aquellos que tienen dimensiones menores a 1 mm. Dentro de este grupo se tendrán:

- Finos en suspensión en el aire viciado de la mina (hasta tamaño de 0,5 micras).
- Finos en suspensión en las aguas residuales procedentes directamente de la mina.
- Estériles finos, formando parte de las pulpas o "lodos" que abandonan la planta mineralúrgica.

Para el estudio de los métodos de tratamiento de los resíduos sólidos mineros, se considerará únicamente este último grupo, es decir, los finos.

Además, se dividirá este estudio en dos subgrupos:

- Finos producidos en operaciones mineras
- Finos producidos en operaciones mineralúrgicas

Finos producidos en operaciones mineras

Estos finos se incorporan al aire de la mina, bien sea en la corriente circulante en el caso de minería subterránea, o en el entorno del punto en que se producen, si se trata de explotaciones a cielo abierto. La importancia de estos finos reside en su acción directa y nociva sobre la salud del trabajador minero.

La utilización de herramientas de percusión y corte para el arranque del mineral, la perforación con barrenos, etc., son técnicas que han traído consigo un gran aumento de las partículas sólidas en suspensión en el aire.

Se consideran nocivas las partículas de tamaños comprendidos entre 5 y 0,5 micras.

Para combatir los efectos de este tipo de polución, se aplican técnicas como las que se van a indicar:

- Controles sobre los frentes de trabajo

. Máquinas de arranque por rozado con pulverizadores de agua
. Rozadoras con espuma
. Explotación con dardos de agua
. Explotación a distancia

- Controles secundarios

. Pulverización de agua en lugares escogidos de la corriente de ventilación
. Utilización de espuma con el mismo fin

. Captación de polvo.

Las técnicas que se han indicado son para minería subterránea. Si se trata de minería a cielo abierto, se emplean las técnicas siguientes:

- Controles sobre los frentes de trabajo

. Perforación para barrenos con inyección de agua o captación de polvo.
. Riego de los frentes antes de las voladuras o antes de la carga
. Palas excavadoras con cabinas estancas

- Controles secundarios

. Riego y compactación de pistas de acceso.

Si se medita sobre las técnicas utilizadas, se llega a la conclusión de que, desde el comienzo de la operación minera se está produciendo un lodo que, generalmente se incorpora despues, en su mayor parte, al proceso de obtención de la parte útil mineral, para terminar vertido en la correspondiente balsa o embalse.

Finos producidos por las operaciones mineralúrgicas

Estos finos son los conducentes a la obtención de un concentrado mineral vendible, con la producción paralela, de unos lodos.

Con el desarrollo de las técnicas destinadas a operaciones mineralúrgicas llegaron también una serie de inconvenientes, como pueden ser, el aumento de lodos estériles y la condición de suspensión de los finos dentro de la pulpa.

Para combatir estos problemas se utilizaron tres etapas consecutivas:

- Evacuación de las plantas y almacenamiento
- Disminución de nocividad y estabilización
- Utilización

Se intentarán describir estas tres etapas de forma somera:

- Evacuación de las plantas y almacenamiento

El primer problema que se planteó con el aumento de lodos fue el encontrar lugares adecuados para su deposicion y almacenamiento.

Es posible encontrar hoy día ya, explotaciones mineras que llevan sus resíduos hasta 20 y 30 Km, y es muy conocido el caso de un grupo minero japonés que los trasporta por tubería cerrada hasta 70 Km.

Antes de su deposición, hay que espesar dichos lodos. Esto se consigue con espesadores profundos y adición de floculantes. También se utilizan hidrociclones.

- Disminución de nocividad y estabilización

Para ésto se construyeron diques de contención y almacenamiento de lodos que reunieron las siguientes características:

. Impedir pérdidas de partículas sólidas
. Permitir el control de la corriente de agua clarificada
. Conseguir una estructura estable
. Conseguir un coste mínimo

Por lo tanto, habrá que ejecutar un proyecto de diseño que comprenda estudios geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos, topográficos, de transporte y distribución.

Además, habría que evitar los problemas de erosión y los problemas de arrastre de partículas por el viento, así como el arrastre de partículas disueltas por el agua de lluvia.

Para evitarlo, se ha acudido a diversas técnicas:

. Recubrimiento con escorias, materiales más gruesos o tierra vegetal.
. Estabilización química superficial mediante la adición de cementos pobres o pulverización de elastómeros que formen una costra dura en superficie.
. Estabilización superficial por plantación de especies vegetales, tanto alrededor de las áreas de almacenamiento (efecto barrera) como encima de las mismas balsas.

- Utilización

Las técnicas más avanzadas para el tratamiento de los resíduos finos, utilizan el principio de su puesta en valor, de su utilización. En dos grupos principales se pueden recoger dichas técnicas.

Reciclado. - Partiendo de que los resíduos mineros constituyen una fuente de suministros, tanto para el producto principal que originó su extracción, como de otros materiales, preferentemente del mismo tipo que el principal.

. Utilización como materiales de uso diverso. - La vitrificación de resíduos, que se viene experimentando desde 1.963, es un medio de valorarlos con especial aplicación en la minería de hierro, pizarras de carbón y barros rojos de la bauxita.

13.4. RESIDUOS DE LA INDUSTRIA NUCLEOELECTRICA (CENTRALES NUCLEARES)

La producción de energía del tipo nucleoeléctrica contribuye, en alto grado, a la producción de resíduos de caracter radiactivo.

La clasificación de resíduos radiactivos más generalmente usada es aquella que viene dada en función de la cantidad de radiactividad contenida en los resíduos, dada por unidad de volumen o de peso. El OIEA - (Organismo Internacional de Energía Atómica) ha propuesto cuatro categorías para la clasificación de dichos resíduos radiactivos.

Categoría 1.

Resíduos conteniendo nucleidos radiactivos emisores beta y gamma y con cantidad insignificante de emisores alfa, cuya dosis y radiación en la superficie sea menor que 0,2 R/h.

Categoría 2.

Resíduos conteniendo nucleidos radiactivos emisores beta y gamma y con cantidad insignificante de emisores alfa. cuya dosis de radiación en la superficie sea mayor de 0,2 R/h y menor que 2 R/h.

Categoría 3

Resíduos conteniendo nucleidos radiactivos emisores beta y gamma y con cantidad insignificante de emisores alfa, cuya dosis de radiación en la superficie sea mayor que 2 R/h.

Categoría 4

Resíduos conteniendo nucleidos radiactivos emisores alfa y con cantidad insignificante de emisores beta y gamma, que no sobrepasen los límites de criticidad en lo que se refiere a la cantidad de materiales fisionables contenidos.

Además de esta clasificación, debe también distinguirse entre las distintas procedencias de los resíduos radiactivos.

Así, se tendrán los resíduos producidos en la extracción y tratamiento de minerales radiactivos, los producidos en el enriquecimiento del uranio y la fabricación de elementos combustibles, los producidos en la explotación de los reactores nucleares y, por último, los producidos en el tratamiento de combustibles irradiados.

Se estudian a continuación los métodos de tratamiento empleados para estos resíduos radiactivos.

Dentro del tratamiento de los resíduos radiactivos de tipo sólido hay que distinguir entre aquellos que originariamente tienen esta característica física (elementos contaminados de un reactor, vainas de combustibles. trapos, papeles, guantes, etc) y otros que se producen en el tratamiento de los resíduos gaseosos y líquidos (filtros, resinas cambiadoras de iones, barros, etc.).

La reducción de volumen es el método más adecuado para el tratamiento de los resíduos con la finalidad de disminuir las necesidades de almacenamiento, temporal o permanente, y los costes de transporte. Para ello, se emplean técnicas idénticas a las utilizadas para materiales no radiactivos, como son : la compactación y la incineración.

La incineración presenta, sin embargo, un grave problema que hace que su utilización sea cada vez más reducida. En efecto, al incinerar resíduos radiactivos se producen resíduos gaseosos radiactivos que exigen un tratamiento adecuado y además, la presencia en los resíduos de cierto tipo de plásticos, como el cloruro de polivinilo, produce productos de combustión corrosivos (ácido clorhídrico) que pueden destruir los materiales de construcción del horno incinerador.

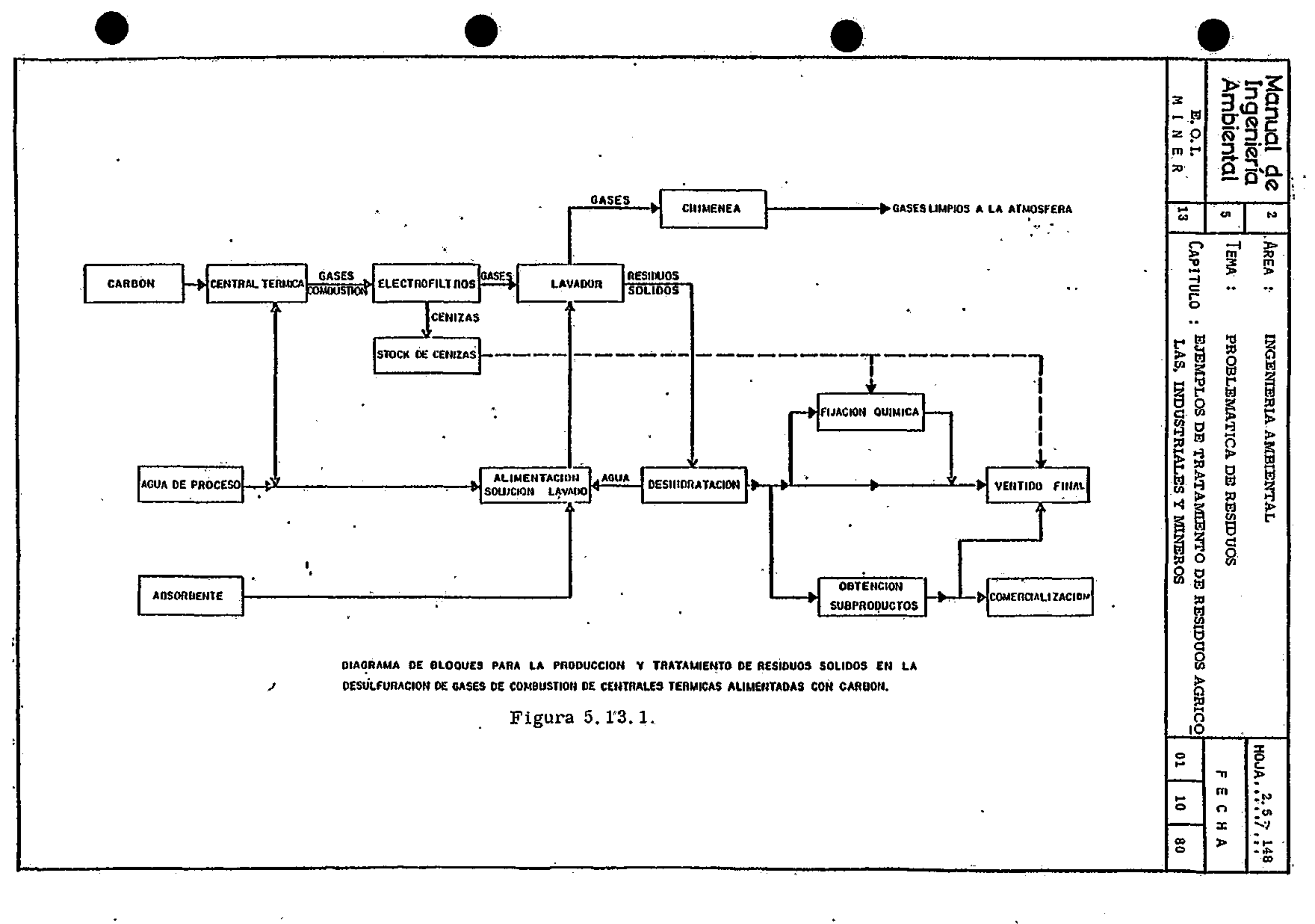


DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PRODUCCION Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS EN LA DESULFURACION DE GASES DE COMBUSTION DE CENTRALES TERMICAS ALIMENTADAS CON CARBON.

Figura 5.13.1.

Un método de tratamiento muy utilizado es la incorporación de los resíduos en una matriz compacta de cemento, asfalto o cemento-vermiculita, almacenando la mezcla en bidones de 200 litros. El fin primordial de este método es obtener un resíduo como producto final, cuya lixiviación sea despreciable, de forma que pueda ser almacenado o evacuado en una zona donde la contaminación del medio ambiente sea prácticamente despreciable.

Este método de incorporación es utilizado también para los resíduos producidos en el tratamiento de los resíduos líquidos (barros y resinas cambiadoras de iones) así como para los concentrados obtenidos en el método de evaporación utilizado para el tratamiento de resíduos líquidos.

Se tratará ahora el almacenamiento de resíduos radiactivos.

Son varias las soluciones adoptadas dependiendo fundamentalmente de la categoria de los mismos.

Entre estas soluciones, las más usadas son:

- Almacenamiento en la superficie.
- Almacenamiento en el terreno a poca profundidad.
- Almacenamiento en minas y formaciones geográficas produndas.
- Almacenamiento en alta mar.

Como ejmplo, se puede decir que, en España, se utiliza como lugar de almacenamiento de resíduos radiactivos una mina de uranio abandonada situada en Sierra Albarrana (Córdoba).

13.5. RESIDUOS PROCEDENTES DE LA DESULFURACION DE GASES DE COMBUSTION EN CENTRALES TERMICAS

En la desulfuración de los gases de combustión de una central térmica, alimentada con carbón, por el proceso de absorción mediante cal o caliza, se producen unos resíduos compuestos, fundamentalmente, por sulfito cálcico ($Ca SO_3$). La producción de estos lodos de sulfito cálcico es tan elevada que es preciso prever un sistema de tratamiento y/o evacuación de los mismos.

Para ello, pueden adoptarse diversas alternativas que van a ser estudiadas a continuación.

13.5.1. Esquema general de producción y tratamiento de lodos en una desulfuración.

Se incluye a continuación un esquema general de producción y tratamiento de lodos en la desulfuración de los gases de combustión de una central térmica alimentada con carbón.

Como puede apreciarse en dicho esquema, los resíduos procedentes del lavador deben sufrir, en todos los casos, un proceso de deshidratación, ya que se obtienen en forma de lechada con un elevado contenido en agua. El agua recuperada en el proceso de deshidratación suele ser reciclada al proceso como agua de aporte para la obtención de la solución de lavado. De esta forma se consigue minimizar el consumo de agua fresca necesario.

Una vez deshidratados, los lodos pueden seguir distintos caminos, según interese o no, una recuperación de subproductos (fundamentalmente azufre, carbonato cálcico, fertilizantes sulfatados, yeso, etc.).

Si no se efectúa una recuperación de subproductos, los lodos pueden ser enviados directamente al vertido final, utilizándose, o no, una previa fijación química para disminuir los riesgos de contaminación de la capa freática debidos al agua de lluvia infiltrada a través de la capa de lodo depositada. Los tratamientos químicos mejoran las características estructurales de los resíduos, reduciendo la solubilidad y la permeabilidad de los mismos. El lugar de vertido final es otro de los parámetros que debe escogerse, existiendo diversas alternativas (vertederos, escombreras, balsas con o sin impermeabilización, minas abandonadas, vertido directo al mar, previa cementación de los resíduos, etc.). Si se utilizan vertederos, balsas o, en general, depresiones del terreno, el correcto diseño del sistema de recogida de aguas sobrenadantes minimizará, o, incluso eliminará, la infiltración de aguas de lluvia a través de los resíduos.

Si se efectúa una recuperación de subproductos, es preciso estudiar detenidamente la comercialización de los mismos (estudios de mercado, etc.), fijándose la producción idónea de estos subproductos y evacuando el excedente a lugares de vertido similares a los ya descritos anteriormente.

13.5.2. Potencial contaminante de los resíduos

La adopción de sistemas de vertido de lodos, con mayor o menor grado de deshidratación, en vertederos, escombreras, balsas o cualquier tipo de depresiones del terreno (incluso en minas abandonadas) presenta siempre un problema potencial de contaminación de las aguas sub-álveas existentes en el lugar del vertido.

Puede decirse que la contaminación potencial de los lodos estriba fundamentalmente en el pH, la demanda química de oxígeno , los sulfatos, los sulfitos, los fluoruros, los cloruros y algunos metales como arsénico, cadmio, cromo, hierro, plomo, manganeso, níquel y selenio, si bien parece probable que adoptando un sistema de vertido de tipo anaerobio puedan alcanzarse unos niveles adecuados (inferiores o sensiblemente iguales a los exigidos por la Administración para vertido de aguas residuales a cauces fluviales.).

13.5.3. Deshidratación

Sea cual sea el sistema de tratamiento químico, vertido o procesamiento para recuperación de subproductos elegido, es preciso proceder siempre a una deshidratación de los lodos obtenidos en la torre de lavado.

Las técnicas de deshidratación más usuales son : espesamiento por sedimentación, centrifugación y filtración, o bien una combinación de las mismas.

En el caso en que no se quieran recuperar subproductos, los lodos procedentes de la torre de lavado (con una gran concentración de sulfito cálcico) son enviados directamente a un espesador, en el que se produce la sedimentación de parte de los sólidos contenidos en los mismos. La alimentación de este espesador suele contener entre un 15 y un 20% en peso de sólidos. Dado que estos lodos de sulfito cálcico no decantan excesivamente bien, por el fondo del espesador se recogen unos lodos con un 25%en peso, aproximadamente, de sólidos. El agua sobrenadante tiene un contenido en sólidos comprendido entre un 10 y un 15% en peso y es reciclada como agua de aporte para la preparación de la solución de cal o caliza utilizada en el absorbedor.

Los lodos recogidos por el fondo del espesador (con un 25% en peso de sólidos) son enviados a una instalación de deshidratación mecánica (centrífuga, filtro prensa o filtro de vacío). Los equipos más empleados para este cometido son los filtros de vacío, en los que se obtienen tortas con un 50-60% en peso de sólidos.

El polvo recogido en el enfriador de gases previo al absorbedor (torre de lavado) es recogido en forma de lodo con un 20%, aproximadamente, de sólidos. Este lodo debe ser también deshidratado, generalmente en otro filtro de vació, obteniéndose tortas con un 50-60 por ciento en peso de sólidos. Las tortas obtenidas pueden ser ya evacuadas en un vertedero.

Si se quieren recuperar subproductos y, más específicamente, yeso, por ser el caso más frecuente, los lodos procedentes de la torre de lavado (con una gran concentración en sulfito cálcico) son enviados a una torre de oxidación donde se produce la conversión del sulfito a sulfato y la consiguiente formación de yeso (sulfato cálcico deshidratado).

Desde la torre de oxidación, el yeso formado es enviado a un espesador en el que se produce una concentración previa de sólidos. La alimentación de este espesador suele tener entre un 7 y un 10 % en peso de sólidos. En este caso, al tratarse de lodos de sulfato cálcico, la decantación es mucho mejor que en el caso del sulfito. Por el fondo del espesador se recogen un yeso con un 25-30% de sólidos aproximadamente (en peso). El agua sobrenadante tiene un contenido en sólidos comprendido entre un 0,1 y un 0,5% en peso. Este agua sobrenadante es reciclada y sirve de agua de aporte para la preparación de la solución de cal o caliza utilizada en el absorbedor.

El yeso recogido por el fondo del espesador(con un 25-30% en peso de sólidos aproximadamente) es enviado a una instalación de deshidratación que, en este caso, suele consistir en una centrífuga de cesto. En esta centrífuga puede obtenerse un yeso con un 70-90% en peso de sólidos que es totalmente comercializable y un centrifugado con un 2,5% en peso de sólidos que puede ser reciclado al proceso como agua de aporte.

El polvo recogido en el enfriador de gases previo al absorbedor (torre de lavado) es recogido en forma de lodo con un 20% aproximadamente, de sólidos. Este lodo debe ser también deshidratado utilizándose, generalmente, una centrífuga similar a la anterior.

Los sólidos obtenidos (yeso deshidratado) después del centrifugado, son enviados a un almacenamiento para su posterior comercialización.

13.5.4 Fijación química

Los tratamientos químicos de fijación tienden a reducir la porosidad y permeabilidad de los resíduos sólidos, ya deshidratados, que deben verterse.

Existen numerosos aditivos con efectos de fijación. Los principales son los siguientes:

- Cemento
- Cal
- Carburo cálcico
- Silicato sódico
- Lignina cromada
- Furfural Analina
- Resinas de poliuretano
- Acrilamidas y di-acrilamidas solubles en agua
- Resinas de poliéster no saturadas

- Cloruro de di-alquil, di-metil, amonio.
- Productos químicos que solidifiquen bajo reacciones de hidratación.

Evidentemente, estos aditivos pueden ser utilizados individualmente o bien en conjuntos de dos otres, según el proceso adoptado.

No existen reglas fijas para la elección del aditivo a emplear. Tan sólo la experimentación con los resíduos obtenidos puede dar origen a resultados válidos.

Sin embargo, se pueden citar los procesos de fijación más empleados, que son los siguientes:

- Adición de cemento, conjuntamente con cenizas volantes.
- Ajuste de pH y adición de un producto que solidifique por hidratación.
- Adición de cemento, conjuntamente con silicato sódico
- Adición de cal, conjuntamente con cenizas volantes.

El proceso más empleado es, con mucho, el citado en primer lugar. En el mismo se suele utilizar una relación lodos-cenizas volantes de 1-2 para obtener una óptima estabilización del lodo. Sin embargo, muchas veces se supera esta relación, aún cuando las características del lodo obtenido no sean óptimas, con el -- fin de utilizar el exceso de cenizas volantes que, de otra forma, deberían ser enviadas a vertedero separadamente. Con esta finalidad, se puede llegar a relaciones lodos-cenizas de 1-3 con obtención de un producto final de bastante buenas características y que sigue siendo muy manejable a efectos de su vertido en vertedero o escombrera.

Suele utilizarse también una relación cemento-lodos de 1-40, aunque algunos licenciantes de proceso preconizan una relación de 1-30. El producto final estabilizado obtendio suele tener un contenido en humedad que varía entre un 10 y un 15% y una densidad comprendida entre 1500 y 2000 Kg/m^3. Las relaciones anteriores entre lodos, cenizas volantes y cemento han sido establecidas sobre bases de pesos húmedos para lodos deshidratados con un contenido en agua de 40-50% en peso.

El residuo obtendio después de un tratamiento de fijación o estabilización química es similar al obtenido en una cementación, por lo que su evacuación (minas abandonadas, escombreras, etc.) es netamente más sencilla que la del resíduo sin tratar. Por otra parte, el resíduo tratado químicamente no plantea prácticamente problemas de contaminación de la capa freática debido al agua de lluvia infiltrada.

13.5.5. Obtención de subproductos

Una de las alternativas que están siendo más investigadas actualmente para eliminar gran parte del enorme volúmen de resíduos obtenido, es la recuperación de subproductos, utilizables y comercializables, a partir de los lodos deshidratados, o incluso de los lodos frescos (caso del yeso). Existen varios procesos de obtención de yeso que difieren entre sí en la pureza del producto final obtenido.

Los procesos más utilizados o en vías de desarrollo son los siguientes :

- Conversión de los resíduos en azufre elemental (proceso Pullman Kellogg).
- Producción de fertilizantes a partir de resíduos de la desulfuración de gases por absorción en cal o caliza (proceso TVA).

- Fabricación de yeso para su utilización en la manufactura de cemento Portland (proceso SCPSA).
- Producción de azufre, alúmina y silicato di-cálcico (proceso TRW).
- Producción de lodos de sulfato cálcico para su aplicación en la industria de la construcción (proceso SCE)
- Obtención de yeso (proceso Chiyoda).
- Producción de sulfito cálcico (proceso Mitsui).
- Obtención de yeso para múltiples aplicaciones (proceso Chiyoda-Mitsubishi)
- Obtención de yeso (proceso Hylter).

13. 6. RESIDUOS METALURGICOS

Las operaciones efectuadas con los resíduos de origen metalúrgico pueden, básicamente, dividirse en:

- Recuperación de chatarras
- Recuperación de cobre
- Recuperación de metales preciosos (plata, oro, paladio y platino)

Se desarrollan seguidamente los tratamientos aplicados a cada uno de estos apartados.

13. 6. 1. Recuperación de chatarras

La primera separación se realiza magnéticamente, clasificando los materiales en:

- Magnéticos
- No magnéticos

Los primeros se prensan para darles más densidad aparente y se comercializan a las acerias.

El segundo grupo se procesa en una instalación de MEDIOS-DENSOS.

Si se sumerge en un fluido de alta densidad (seudo-plásticos) una mezcla de materiales de distintas densidades, tendremos:

. Los materiales de densidad inferior al medio, flotan en la superficie.

. Los de densidad superior al medio se hunden al fondo.

Si por medio de mecanismos adecuados se sacan a conductos distintos los materiales que FLOTAN y los que se HUNDEN, tendremos separadas dichas fracciones.

La instalación de MEDIOS-DENSOS consta esencialmente de :

2 Cilindros concentradores (ó conos, etc.). En el primero la densidad se regula entre 1, 5 y 2 y en el 2º muy cerca de 3. De esta forma en el 1º concentrador tendremos un FLOTADO, 1º grupo y un HUNDIDO, grupos 2º y 3º. Este material alimenta el 2º tambor y tendremos un FLOTADO, 2º grupo y un HUNDIDO, 3º grupo.

La instalación se completa con tolvas, alimentadores, cribas de recuperación del medio denso, separa-

dores magnéticos, bombas dosificadoras, decantadores, etc. El medio denso se obtiene con MAGNETITA finalmente dividida y agua para densidades bajas, menos de 2 y Ferrosilico y agua para densidades altas 3.

13.6.2 Recuperación de cobre

Pueden utilizarse dos operativas: Pirometalúrgica e Hidrometalúrgica.

PIROMETALURGICA. Clasificación de materiales en finos y gruesos y pelletización verde de los primeros.

Fusión escorificante en un horno WATER-JACKET con producción de COBRE NEGRO y subproductos escoria pobre y oxidos metálicos recuperados en filtro de mangas.

Fusión Oxidante del Cobre Negro, en un convertidor con inyeción de oxigeno por lanza refrigerada con producción de COBRE BLISTER (98% Cu aproximadamente) y subproductos de oxidos en FILTRO DE MANGAS.

Afino térmico del Blister, en horno reverbero con reducción por leña verde y producción de COBRE con ley del 99% en forma de placas ANODICAS.

Afino Electrolítico de los ánodos en cubas de electrolisis, ácido con electrolito de sulfato de cobre y sulfúrico libre, sistema paralelo-serie. Corriente continua pulsante con alta densidad de corriente catódica aprox. 300 A/m2. Producción de COBRE CATODICO ELECTROLITICO y FANGOS ANODICOS RICOS en METALES PRECIOSOS como subproducto, LEJIA de electrólisis purgada saturada de impurezas solubles.

Productos y Subproductos obtenidos:

Productos:

- COBRE ELECTROLITICO 99,9% Cu
- FANGO ANODICO, 12/20% Ag.

Subproductos:

ESCORIA granulada en agua del horno W. J. La carga y marcha del horno se conduce para que su composición tenga propiedades ABRASIVAS (SiO_2, OF_e, OC_a). Se comercicaliza como abrasivo para limpieza de superficies metálicas, astilleros, etc.

OXIDOS del filtro de mangas, principalmente se recuperan óxidos de Zn, Pb, su contenido de cobre es bajo 6%. En la actualidad se comercializa este producto. Se está investigando para recuperar estos metáles por sistemas HIDROMETALURGICOS.

OXIDOS de filtro de convertidor de oxigeno, principalmente se recuperan óxidos de Pb y Sn. Respecto a su utilización se puede decir lo mismo que en el caso de los óxidos de W. J.

LEJIAS saturadas de la electrólisis, principalmente están en disolución el cobre, niquel, arsénico. En la actualidad se recupera CEMENTANDOLAS con chatarra de hierro, recuperando el COBRE principalmente. La investigación a que se hacia referencia en los óxidos es ampliable a este producto.

HIDROMETALURGIA. En la actualidad se está trabajando en un sistema para recuperar los metales de los óxidos de los FILTROS de Mangas y las LEJIAS de descarte de la ELECTROLISIS. La investigación está dirigida hacia la HIDROMETALURGIA ya que concurren circunstancias que hacen el método muy atractivo.

- OXIDOS metálicos, fáciles de LIXIVIAR

- ACIDO de descarte de la ELECTROLISIS para poder LIXIVIAR

Como señalábamos al hablar de los Sistemas de Recuperación de Residuos Industriales el gran desarrollo de las RESINAS de intercambio iónico hacen posible la recuperación de estos metales Cu/Sn/Zn/Pb/Fe/Ni/Ag/ en forma de fácil comercialización, sales o cátodos de electrolisis.

13. 6. 3. Recuperación de metales preciosos

Pueden utilizarse dos tipos de operativas: Metalúrgica y Química

Tratamiento de Fangos Anodicos (Tratamiento hidrometalúrgico):

El tratamiento de los gangos anódicos de la electrolisis de cobre para recuperar los metales preciosos en ellos contenidos, comprende los siguientes pasos.

. DESCOBRADO para eliminar el cobre residual que todavía contiene. Este proceso comprende varias fases:

-TOSTACION para conseguir que el cobre sea soluble en ácido sulfúrico

- LIXIVIACION con ácido sulfúrico diluido en caliente.

- FILTRACION para separar el fango descobrado de las lejias de cobre. De estos últimos se recupera el cobre por cementación con hierro.

. ESCORIFICACION. El fango mezclado con óxido de plomo y fundentes y carbón se somete en un horno a un proceso de escorificación en el que se obtiene un plomo que contiene los metales preciosos y una escoria que se recircula.

. COPELACION. El plomo obtenido en la etapa anterior se somete a una fusión oxidante. De esta manera se separa un óxido de plomo que se recircula a la etapa 2 y una aleación bullión que contiene los metales preciosos.

. ELECTROLISIS DE PLATA . El bullión de plata se somete a un proceso de electrolisis en medio nítrico. Mediante este proceso se obtiene una plata pura y un fango anódico conteniendo el oro y los metales del -- grupo del platino.

. FUSION del fango de oro para obtener unos anodos apropiados para la etapa siguiente.

. ELECTROLISIS DE ORO en la que se obtiene el oro electolítico y los metales del grupo del platino pasan el electrolito.

. AFINO DE PLATINO Y PALADIO. Cuando los electrolitos de la ELECTROLISIS DE ORO están muy cargados de platino y paladio se someten a una separación y purificación de estos metales por los procedimientos químicos conocidos.

SISTEMAS QUIMICOS: Cianuración y ataque con ácido nítrico, con procesos cuyo producto final se procesa en el SISTEMA METALURGICO descrito para los Fangos Anódicos.

Cianuración:

MATERIALES A TRATAR: Chatarras y residuos que contienen plata y/ó oro en forma de recubrimiento sobre un soporte no atacable por el cianuro (acero inoxidable, niquel, etc.) Estas chatarras proceden fundamentalmente de la industria electrónica.

Proceso:

El proceso de cianuración comprende las siguientes fases:

. DISOLUCION. El material a tratar se somete a la acción de una disolución alcalina de cianuro y de aire. En estas condiciones la plata y el oro pasan a la disolución en forma de cianuros complejos.

. CEMENTACION. La disolución obtenida se trata con cinco en polvo. Los metales nobles se reducen quedando en forma de una suspensión.

. CENTRIFUGACION. Para separar en la suspensión obtenida en 2 los metales preciosos de la disolución. Los metales preciosos obtenidos pasan directamente a la planta de afino de plata.

. DESTRUCCION DE CIANURO. Los líquidos libres de metales preciosos se tratan con hipoclorito sódico para destruir el cianuro antes de desecharlos.

Ataque con Acido Nítrico:

MATERIALES A TRATAR: Residuos que contienen plata en estado metálico. Pueden ser de dos tipos: Fig. 7

- TOTALMENTE ATACABLES POR ACIDO NITRICO. Como aleaciones, monedas, etc.

- PARCIALMENTE ATACALBES POR ACIDO NITRICO. Si la plata se encuentra sobre un soporte inatacable (catalizadores de plata sobre alumina) queda un residuo.

Proceso:

. ATAQUE con ácido nítrico del material. Se obtiene una disolución de plata y un residuo (ó no, según sea el caso) Además se producen vapores nitrosos que son oxidados con oxigeno y disueltos en agua en una torre de absorción obteniendo un ácido nítrico diluido que sirve para ataques posteriores.

. CEMENTACION. La disolución conteniendo plata se cementa con cobre.

. CENTRIFUGACION. Para separar la plata cementada, que va directamente a la planta de afino, de las -

lejías de cobre, que pasan a cementar con hierro para recuperar el cobre.

13.7. RESIDUOS PLASTICOS

Los plásticos son, sin duda, el tipo de productos cuyo consumo ha experimentado un mayor auge en los últimos años. Por ello, el volúmen de resíduos plásticos producido es cada vez mayor. La procedencia de estos resíduos es la siguiente:

- Transformación de materiales plásticos 4%
- Desguace de automóviles y otras operaciones......... 15%
- Resíduos industriales semejantes a urbanos.......... 11%
- Resíduos urbanos.............................. 70%

En los resíduos urbanos, la composición de la frnción de plásticos es, aproximadamente, como sigue:

- Polietileno de baja densidad (PEbd)................ 54%
- Polietileno de alta densidad (PEad)................ 16%
- Polipropileno (PP)........................... 5%
- Policloruro de Vinilo (PVC)..................... 14%
- Poliestireno (PS)............................. 11%

El porcentaje de PEbd tiende a mantenerse en un futuro, el de PEad tiende a aumentar ligeramente, el PP tiende a aumentar de manera considerable, el PVC tiene tendencia a decrecer y el PS se estabilizará gracias al aumento de consumo de la forma expandida.

Se estudian, a continuación, algunos de los métodos de recuperación de resíduos plásticos.

13.7.1 Separación de plásticos procedentes de resíduos urbanos

No se indicarán los métodos de separación de la fracción de plásticos con respecto a las otras fracciones contenidas en los residuos urbanos por haber sido ya descritos en los procesos de aprovechamiento integral. Se parte, por tanto, de dicha fracción de plásticos y se intentará la separación de sus distintos componentes. Para ello, el U.S.B.M. ha ideado el proceso reflejado en la Fig. 5.13.1 El método "sink-Float" puede resumirse en la Fig. 5.13.2 siguiente:

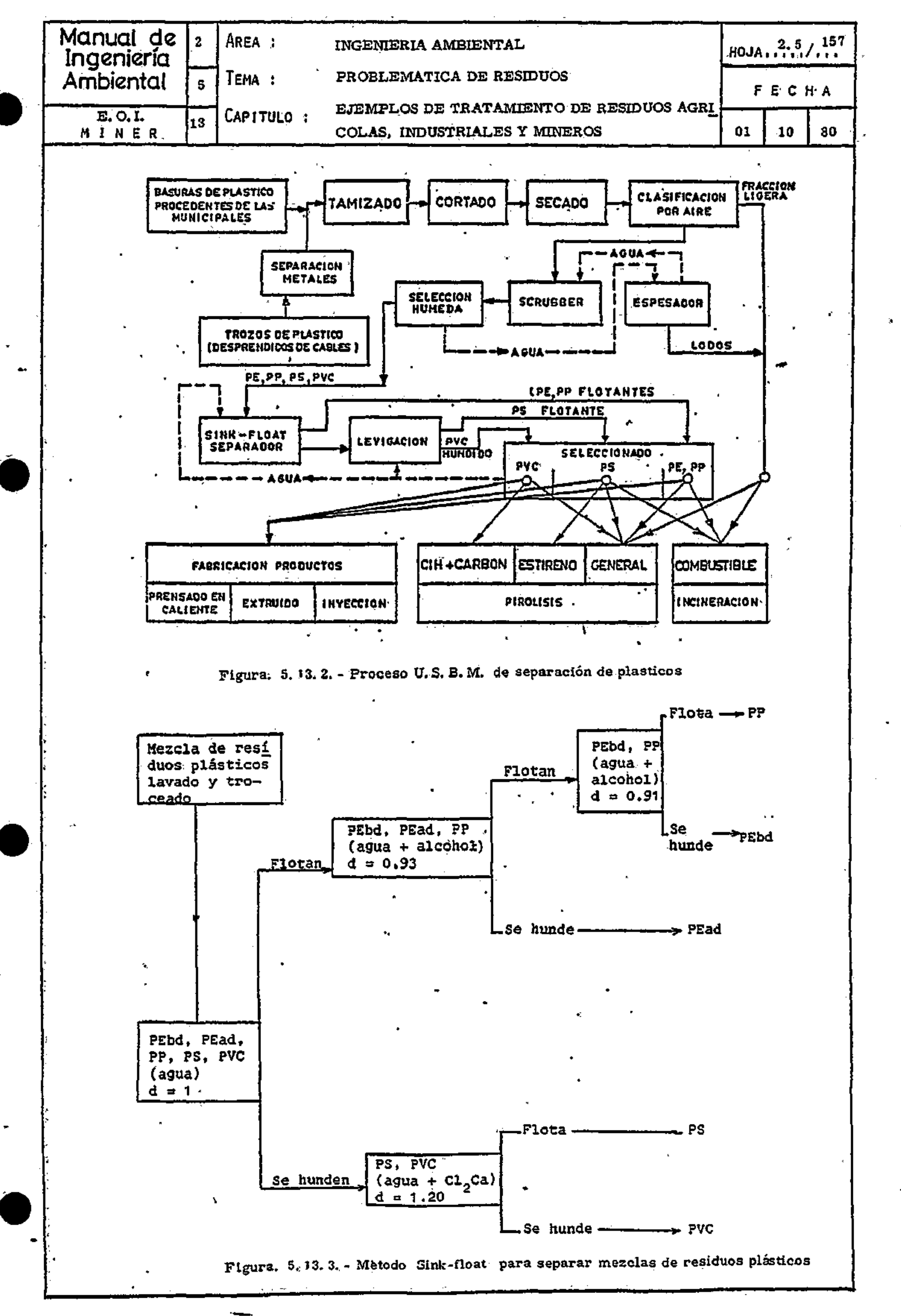


Figura. 5.13.2.- Proceso U.S.B.M. de separación de plasticos

Figura. 5.13.3.- Mètodo Sink-float para separar mezclas de residuos plásticos

13.7.2. Recuperación de resíduos plásticos industriales

Los resíduos plásticos industriales se producen a lo largo de todas las etapas del proceso, es decir:

. Producción o síntesis de las resinas plásticas
. Formulación de las resinas plásticas
. Transformación de las resinas para obtener productos semiacabados o acabados.

Desde el punto de vista de la recuperación, estos resíduos son muy interesantes ya que vienen seleccionadas desde su origen, no necesitando operaciones de separación y, además presentan muchas menos impurezas que los plásticos contenidos en los resíduos urbanos.

Los plásticos que no han sufrido ninguna contaminación (la mayoría de los plásticos industriales) pueden introducirse de nuevo en la producción, conjuntamente con el material plástico nuevo, una vez lavados y granceados o aglomerados.

Sin embargo, cuando lo que se pretende reutilizar es una mezcla de plásticos, previamente granceada o aglomerada, es preciso tener cuidado con la degradación de cada uno de los componentes (en cada reciclado el plástico pierde calidad por transformaciones de su estructura molecular) así como con la incompatibilidad entre los distintos componentes (lo que confiere a la mezcla propiedades mecánicas deficientes). Existen, sin embargo, tres métodos para mejorar la calidad de las mezclas:

. Modificar la composición de la mezcla de modo que se encuentre en una zona de mejores propiedades añadiendo polímero virgen.

. Introducir un aditivo (agente de compatibilización), que mejore la adhesión entre las distintas fases del polímero.

. Introducir un componente no plástico.

Puede afirmarse que la legislación mundial sobre residuos urbanos ha estado caracterizada hasta tiempos recientes por estar basada sobre normas aisladas, generalmente de tipo local, tendentes a que los vertederos ubicados cerca de los núcleos urbanos, cumpliesen unas normas mínimas de tipo sanitario. De esta forma, la legislación sobre la materia se ha apoyado preferentemente en leyes y reglamentos de tipo sanitario, más bien que sobre normas de tipo general.

Tres acontecimientos, sin embargo, van a trastocar estos puntos de vista, determinando un brusco giro en la legislación sobre el tema. Por una parte la masificación de los residuos producidos en las ciudades, con un crecimiento fuera de toda previsión, que ha desbordado el problema y obliga a plantearlo sobre otras bases. En segundo término, la aparición de nuevas técnicas de almacenamiento de residuos, como el denominado vertido controlado, que obligan al legislador a recogerlas en un ordenamiento legal. En tercer lugar, y fundamentalmente, la creciente crisis a nivel mundial de materias primas, junto a las enormes fuentes de riqueza que los residuos sólidos encierran. Un mundo de escasez de recursos, un mundo que tiene que abastecer a las nuevas necesidades que provoca el incremento de la población, debe descubrir los procedimientos necesarios para obtener la mayor rentabilidad de los productos. A esta idea responde la recuperación de los recursos contenidos en los residuos, posibilidad facilitada por nuevas técnicas que permiten reutilizar lo que antaño sólo era susceptible de abandono.

Sin embargo, la legislación mundial aún no ha reaccionado como exigen las circunstancias. A nivel europeo, en el año 1976 sólamente existen tres leyes que regulen la materia de una forma unitaria y coherente: la española, la francesa y la sueca, habiendo influído la primera sobre la segunda. La legislación inglesa contenía fundamentalmente normas de tipo económico y el resto de los países se encuentran actualmente confeccionando textos legales sobre el tema.

Diversos congresos y reuniones internacionales han sugerido varias recomendaciones en orden a la elaboración de leyes especiales para regular la recogida, la eliminación y el aprovechamiento de residuos urbanos. Se admite en términos genéricos la competencia de los entes locales, pero se recomienda la colaboración con los entres provinciales, así como con los particulares en régimen consorcial. Se hace hincapié sobre la necesidad de definir en todo momento la propiedad sobre los residuos, a efectos sobre todo de determinar la responsabilidad que pueda derivarse por posibles perjuicios causados por ellos a las personas y a las cosas. Se apunta la necesidad de que todo depósito o vertedero de residuos se encuentre ajustado a un proyecto técnico aprobado por la autoridad administrativa.

En lo referente a la recuperación de recursos, se recomienda que en los procesos industriales de producción se utilicen en algunos casos materias primas obtenidas del reciclado. En materia de organización, la tradicional competencia de las Corporaciones Locales, queda reducida a la recogida y, en todo caso, a la eliminación de los desechos. Para el aprovechamiento, son recomendadas fórmulas más ágiles de gestión, como la creación de una Agencia Nacional que tenga como exclusiva misión la recuperación de residuos en todo el territorio nacional; la creación de empresas ad hoc, constituidas por capital del Estado y capital privado y otras fórmulas tendentes a obtener rentabilidad.

Como se ha señalado antes, las avanzadillas de la legislación internacional vienen constituídas por las Leyes sueca, española y francesa.

La Ley sueca contiene una curiosa obligación impuesta sobre los hogares: la de separar el papel del resto de las basuras, con el fin de facilitar el reciclaje. Las autoridades locales suecas deberán recolectar todos

los tipos de residuos químicos peligrosos, mediante una empresa estatal, especialmente creada al efecto. Prevé la Ley que el Estado sueco fomente la innovación técnica sobre los procedimientos de recuperación, permitiendo para ello subvenciones de hasta el 50 por cien de los costes de producción. En la legislación de este país es asímismo destacable el hecho de que las personas que lleven un automóvil a la chatarra recibirán un premio antipolución de 75 dólares, el cual será financiado por un impuesto "de chatarra" que se impondrá a los compradores de automóviles nuevos.

La Ley francesa es prácticamente simultánea de la española, y el intercambio que mantuvieron ambos equipos de redacción permite observar algunas concomitancias entre una y otra. Se define el residuo como todo aquello que su propietario desea abandonar o de hecho ha abandonado ya, es decir, se hace hincapié en el aspecto subjetivo del abandono. Como en la Ley española, objeto fundamental de la francesa es la adecuada protección del medio ambiente por causa de los residuos. Para ello, la Administración francesa puede imponer obligatoriamente la realización de trabajos para su tratamiento. Las imposiciones legales son mayores en el caso de los residuos industriales por la mayor dificultad de su tratamiento. Para ello, existen facultades policiales que obligan a los fabricantes a cumplir condiciones en los procesos industriales.

La eliminación de residuos puede llevarse a cabo en forma individual o colectivamente, previa una planificación que realiza el Estado sobre áreas geográficas, y que resulta vinculante para las Corporaciones Locales, las cuales tienen la obligación de organizar los servicios de eliminación adecuados.

Como en el resto de los países que cuentan con legislación sobre el tema, en Francia existe una decidida intervención del Estado para fomentar la recuperación de los recursos contenidos en los residuos. Puede obligar a las industrias a utilizar en sus procesos materiales recuperados y oponerse ala publicidad contra los materiales fabricados con productos recuperados.

Cabe destacar, desde el punto de vista de la organización, la creación de una Agencia impulsora del aprovechamiento de residuos, con facultades amplias sobre el territorio nacional y con capacidad económica suficiente para contribuir a las iniciativas locales.

A nivel mundial, la legislación más adelantada es la de los Estados Unidos, que ya en 1965 publicaba su Ley sobre residuos, modificada en 1970 y en 1973.

Los objetivos de dicha Ley son los siguientes:

- Promover la construcción de sistemas de tratamientos y aprovechamiento de residuos, con el fin de preservar el medio ambiente y obtener nuevas fuentes de recursos.

- Prestar asistencia técnica y económica a los Estados y a las Corporaciones Locales con la finalidad antes reseñada.

- Promover un programa nacional para la búsqueda de nuevas formas de recuperación de residuos.

- Establecer líneas directrices para la promulgación de disposiciones legales sobre gestión y aprovechamiento de residuos.

Existen grandes diferencias entre las legislaciones de los distintos países miembros de la C. E. E. Estas diferencias pueden apreciarse en el texto: " The law and practice relating to pollution control and the mem

ber states of the European Communities: A comparative Survey", de J. McLoughlin para la Environmental Resources Limited, publicado por Graham & Trotman Limited para la Commission of the European Communities (1978).

La primera aproximación que se produjo en España hacia una legislación sobre resíduos, consistió en un Decreto de 23 de Agosto de 1.934, por el que se aprobaba el Reglamento de Policía Minera y Metalúrgica.

Posteriormente, y mediante Decreto 2414/1961, de 30 de Noviembre, se aprobó el Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas. En dicho Reglamento, como puede comprobarse en el Nomenclator que incluye se consideraron muchas de las actividades productoras de Resíduos (Por ejemplo, 311-318 Obtención de abonos orgánicos, etc.).

A continuación se fue ordenando dicho Reglamento mediante la promulgación de la Orden de 15 de Marzo de 1963, por la que se aprobaba una Instrucción que dictaba normas complementarias para la aplicación del Reglamento de Actividades Molestas. Insalubres. Nocivas y Peligrosas.

Más tarde, fueron publicándose diversas modificaciones al Reglamento en cuestión (Orden de 21 de Marzo de 1964, Decreto 3494/1964 de 5 de Noviembre; Orden de 25 de Octubre de 1965, Decreto 840/1966 de 24 de Marzo, Decreto 2231/1966, de 23 de Julio, Decreto 2183/1968 de 16 de Agosto, etc.)

En dicha Orden, se tienen muy especialmente en cuenta los emplazamientos de las distintas instalaciones catalogadas como molestas, insalubres, nocivas o peligrosas (como podrían ser vertederos o plantas de tratamiento de resíduos)

También se hace especial hincapié en la competencia de los Ayuntamientos para elaborar sus propias Ordenanzas.

En este aspecto, y bastante recientemente, el Ministerio de Industria y Energía, a través del Instituto Geológico y Minero de España, está elaborando mapas de orientación (a escala 1:50.000) al vertido de resíduos urbanos

Amparados por la Orden Ministerial anterior, los Ayuntamientos de Madrid y Barcelona promulgaron sendas Ordenanzas para limpieza de calles y recogida de basuras.

Las acuciantes necesidades de materias primas que produjo la crisis energética de 1973, motivaron que el legislador español, consciente de la riqueza contenida en los residuos, estableciera un régimen jurídico regulador que contemplara, no solamente los aspectos de la recogida, transporte y almacenamiento, incorporando a la legislación las tecnologías de punta, sino también todo lo relativo al aprovechamiento de los residuos, considerados, como señala la Exposición de Motivos de la Ley, como una de las fuentes de riqueza del futuro.

Nace así la Ley de residuos con esa doble perspectiva, recogida en su artículo primero, que establece la finalidad de la nueva Ley en el establecimiento de un régimen jurídico para la ordenación y vigilancia de la recogida y tratamiento de los residuos en orden a la protección del medio ambiente y el subsuelo, fomentando el aprovechamiento de los mismos mediante la adecuada recuperación de los recursos en ellos contenidos. Es necesario señalar que la protección del medio ambiente va a ser una constante preocupación de la Ley, consciente de los perjuicios que los desechos provocan en el paisaje, en las aguas y en la ecología en general.

La Ley se titula de desechos y residuos sólidos urbanos, lo cual obliga a diferenciar los conceptos de desecho y residuo. Desecho es aquello que se abandona definitivamente, lo que carece en absoluto de valor, y por consiguiente, será necesario eliminar en condiciones que garanticen la adecuada protección del entorno ambiental. A los desechos van dirigidos los artículos del texto legal que se ocupan de la recogida, el transporte y el almacenamiento de los mismos. Residuo, en cambio, es aquello que, aunque es abandonado por quien lo produce, permite aún extraer de él nuevos recursos; es, en definitiva, susceptible de aprovechamiento ulterior. Sin embargo, estas precisiones legales son innecesarias. Hubiera bastado el título unitario de Ley de Residuos Urbanos, con lo que el texto habría ganado en claridad.

El concepto de resíduo o desecho urbano es difícil de definir. Evidentemente y en principio, será todo aquél que se produzca en un casco urbano. Pero el conceto de urbano es precisamente lo indefinible. Por ello, la Ley ha huído de la definición técnica de residuo urbano y ha preferido relegar la cuestión a lo jurídico-administrativo y así, lo define como aquél cuya recogida, transporte y eliminación corresponde a los Ayuntamientos de acuerdo con lo establecido en la legislación de régimen local.

El capítulo II de la Ley, relativo a la eliminación de residuos, contiene una primera declaración de carácter general: los Ayuntamientos están obligados a hacerse cargo de todos los residuos que se produzcan en el terreno de su jurisdicción. Importante declaración, por cuanto de ella se deriva una grave responsabilidad para las Corporaciones Locales en el caso de que, por las causas que fueren, no procedieran a la recogida de los residuos y estos supuesto perfectamente posible-ocasionaran perjuicios. Ahora bien; el Ayuntamiento no está obligado a recoger los residuos tal como vienen. Puede obligar al primitivo proseedor de los mismos a que, caso de que sean tóxicos o peligrosos, realice tratamientos previos, cómo se daría en el supuesto de desechos hospitalarios. O bien puede obligar a reducir el tamaño de los residuos voluminosos.

La Ley se ocupa especialmente de la propiedad sobre los residuos. Cuando estos, por su escasa importancia, no podían causar serios perjuicios al medio ambiente, cuando no existían técnicas para obtener la reutilización de los mismos, la propiedad no planteaba problema alguno. Mas cuando las perspectivas de futuro han cambiado radicalmente, es preciso que la Ley atribuya a unos u otros la propiedad sobre los residuos, y así estos pertenecen a su productor hasta que los abondona, y al Ayuntamiento desde que los recoge. Prevé incluso la Ley la posibilidad de expropiación forzosa de residuos para su aprovechamiento por terceros interesados.

Se recogen en el texto las técnicas del vertido controlado, especificándose que cualquier vertedero requerirá un proyecto que deberá ser autorizado por la Administración. Se establecen tres clases de autorizaciones: indefinidas, temporales o eventuales.

En el Capítulo III, dedicado al aprovechamiento de residuos, constituye la parte más innovadora de la Ley. Cualquier propietario de residuos tiene derecho a realizar su aprovechamiento mediante proyecto autorizado por el Ministerio de Industria. Este puede además imponer modificaciones y ampliaciones en las plantas de tratamiento, con el fin de reutilizar una mayor cantidad de residuos.

El capítulo IV, dedicado a la actividad de la Administración sobre la materia, recoge la necesidad de que el Estado fomente la recuperación de residuos, toda vez que esta es una actividad nueva para el capital privado. Con esta finalidad, se obliga al Ministerio de Industria a la confección de un programa nacional de investigación y desarrollo tecnológico con el fin de implantar los sistemas más adecuados pra la eliminación y recuperación de desechos. Se impone la necesidad de realizar un inventario nacional de focos contaminantes por residuos urbanos y se preveen otras precauciones para la protección del medio ambiente.

En materia económica, consciente la Ley de que es preciso en este sector más que en ningún otro la unificación de esfuerzos, previene la creación de consorcios y mancomunidades municipales de recogida y tratamiento. Se establece un programa de subvenciones económicas para estas activiades, e incluso se crean líneas especiales de crédito en la Banca Oficial. La Ley considera incluso la posibilidad de que los pequeños Ayuntamientos no puedan sub venir económicamente a las obligaciones que les impone el nuevo texto legal, previéndose en ese caso que las Diputaciones Provinciales asuman las funciones municipales.

La Ley contiene un capítulo dedicado a sanciones, cuya cuantía puede alcanzar hasta un millón de pesetas en algunos casos.

Finalmente, debe señalarse que la Ley obliga al Gobierno a redactar en el plazo de un año el Reglamento para la aplicación de la Ley. Sin embargo, este Reglamento aún no ha sido publicado, lo que comporta el peligro de que todas las previsiones contenidas en el texto queden sin aplicación suficiente para causa de la ausencia de desarrollo reglamentario.

Para la aplicación de esta Ley, se está desarrollando en la actualidad el Reglamento correspondiente.

Dicho Reglamento, se encuentra actualmente a nivel de Anteproyecto y está sufriendo contínuas modificaciones.

Se espera que el Reglamento sea aprobado por la CIMA (Comisión Interministerial del Medio Ambiente) en breve plazo, para su posterior aprobación, en Consejo de Ministros y su publicación en el B. O. E.

En dicho Reglamento puede comprobarse, sin embargo, que existen aún muchas lagunas en la legislación sobre resíduos urbanos. Estas lagunas son totales cuando se trata de resíduos mineros, industriales, etc.

Como ha podido comprobarse a lo largo de este exhaustivo apartado, las legislaciones existentes sobre resíduos están basadas, fundamentalmente, en resíduos de tipo urbano, no existiendo prácticamente nada más que leves indicaciones para el vertido de resíduos de tipo industrial.

Es evidente que el campo de la legislación sobre resíduos está todavía muy poco desarrollado, aunque cada vez se considera más la problemática de estos desechos por lo que es previsible y deseable, que en un futuro no muy lejano, nuestro país pueda tener una legislación adecuada para la recogida, tratamiento y vertido de resíduos cualesquiera que sean su procedencia y características.

Sería engañoso pensar que el aprovechamiento de los resíduos es una idea nueva que se nos ofrece como una panacea para la solución de nuestros problemas. No emana de ella poder mágico alguno que pueda trascender las leyes de la Economía. Tal pensamiento supondría olvidar que el único motor que hasta ahora hizo posible lograr notables niveles de aprovechamiento en algunas sustancias fue simplemente el libre juego de la oferta y de la demanda.

Si no varían las circunstancias actuales, el aprovechamiento de los resíduos crecerá en la medida en que los diferentes factores que afectan al consumo vayan provocando elevaciones de precios y situen a los materiales recuperados en mejores condiciones de competencia con los recursos naturales. De una manera indirecta, esa tendencia será el reflejo, tanto de las progresivas dificultades que irán surgiendo en el aprovisionamiento seguro y económico, de recursos minerales, como, y probablemente antes, de la aparición de medidas, cada día más estrictas, de protección del medio ambiente.

No en vano, se comprueba también que aquellas ciudades de los Estados Unidos que más se destacan por su preocupación por los esquemas y métodos de aprovechamiento, son las que disponen de un espacio más limitado y costoso para el vertido. De las cincuenta ciudades más importantes, este sistema será todavía una solución factible para unas treinta en los próximos diez años, mientras que en las restantes el plazo no alcanzará ni a cinco años.

Ahora bien, si por el contrario se pretende impulsar decididamente la política de aprovechamiento, por entender que con ella se pueden aliviar simultáneamente otros problemas, habrá que plantear las actuaciones en este sentido bajo una nueva serie de condiciones de todo tipo. Si como se ha señalado se trata de pasar en el flujo de los productos, de una economía lineal a una economía circular, habrá que actuar decididamente.

No se deberá juzgar el rendimiento de una operación de tratamiento sobre la base del simple balance de los costes y beneficios obtendios por la venta de los productos recuperados, en las condiciones actuales de mercado. Si tales procesos se van a justificar, en parte, por las soluciones que ofrecen en otros campos, habrá que contabilizar también, para que el balance sea completo, esos beneficios sociales añadidos: disminución de las dificultades y costes de eliminación; protección del medio ambiente y conservación de los recursos naturales.

O en otras palabras, habrá que considerar como sociales una parte de los costes correspondientes. Entonces por la propia naturaleza social de tales costes, tiene que ser la sociedad la que regule en qué forma y en qué cuantía hacerles frente. Y, en definitiva, nuestras actividades sociales, para ser eficaces, han de reflejarse en las leyes, pues son estas las que moldean nuestras actuaciones. Lo que no se deberá pretender por más tiempo es que sean las corporaciones locales y las empresas, las únicas que carguen con la responsabilidad de la gestión de los resíduos, cuando se trata de un problema con claras implicaciones nacionales.

En consecuencia, la actuación estatal debería encauzarse hacia el logro de dos objetivos primordiales: por una parte, se trataría de potenciar la producción de productos fácilmente recuperables por otra, se fomentaría el tratamiento de los resíduos producidos, en el sentido de aprovechar los recuperables y eliminar el resto.

Para cumplir ambos objetivos, la Administración precisaría desarrollar una acción coordinadora y promotora central, que tendría como tareas específicas, entre otras, las siguientes:

Sería engañoso pensar que el aprovechamiento de los resíduos es una idea nueva que se nos ofrece como una panacea para la solución de nuestros problemas. No emana de ella poder mágico alguno que pueda trascender las leyes de la Economía. Tal pensamiento supondría olvidar que el único motor que hasta ahora hizo posible lograr notables niveles de aprovechamiento en algunas sustancias fue simplemente el libre juego de la oferta y de la demanda.

Si no varían las circunstancias actuales, el aprovechamiento de los resíduos crecerá en la medida en que los diferentes factores que afectan al consumo vayan provocando elevaciones de precios y situen a los materiales recuperados en mejores condiciones de competencia con los recursos naturales. De una manera indirecta, esa tendencia será el reflejo, tanto de las progresivas dificultades que irán surgiendo en el aprovisionamiento seguro y económico, de recursos minerales, como, y probablemente antes, de la aparición de medidas, cada día más estrictas, de protección del medio ambiente.

No en vano, se comprueba también que aquellas ciudades de los Estados Unidos que más se destacan por su preocupación por los esquemas y métodos de aprovechamiento, son las que disponen de un espacio más limitado y costoso para el vertido. De las cincuenta ciudades más importantes, este sistema será todavía una solución factible para unas treinta en los próximos diez años, mientras que en las restantes el plazo no alcanzará ni a cinco años.

Ahora bien, si por el contrario se pretende impulsar decididamente la política de aprovechamiento, por entender que con ella se pueden aliviar simultáneamente otros problemas, habrá que plantear las actuaciones en este sentido bajo una nueva serie de condiciones de todo tipo. Si como se ha señalado se trata de pasar en el flujo de los productos, de una economía lineal a una economía circular, habrá que actuar decididamente.

No se deberá juzgar el rendimiento de una operación de tratamiento sobre la base del simple balance de los costes y beneficios obtendios por la venta de los productos recuperados, en las condiciones actuales de mercado. Si tales procesos se van a justificar, en parte, por las soluciones que ofrecen en otros campos, habrá que contabilizar también, para que el balance sea completo, esos beneficios sociales añadidos: disminución de las dificultades y costes de eliminación; protección del medio ambiente y conservación de los recursos naturales.

O en otras palabras, habrá que considerar como sociales una parte de los costes correspondientes. Entonces por la propia naturaleza social de tales costes, tiene que ser la sociedad la que regule en qué forma y en qué cuantía hacerles frente. Y, en definitiva, nuestras actividades sociales, para ser eficaces, han de reflejarse en las leyes, pues son estas las que moldean nuestras actuaciones. Lo que no se deberá pretender por más tiempo es que sean las corporaciones locales y las empresas, las únicas que carguen con la responsabilidad de la gestión de los resíduos, cuando se trata de un problema con claras implicaciones nacionales.

En consecuencia, la actuación estatal debería encauzarse hacia el logro de dos objetivos primordiales: por una parte, se trataría de potenciar la producción de productos fácilmente recuperables por otra, se fomentaría el tratamiento de los resíduos producidos, en el sentido de aprovechar los recuperables y eliminar el resto.

Para cumplir ambos objetivos, la Administración precisaría desarrollar una acción coordinadora y promotora central, que tendría como tareas específicas, entre otras, las siguientes:

. elaborar un cuidadoso inventario nacional sobre los tipos de resíduos, sus problemas, posibilidades de eliminación y recuperación, y sus tendencias.

. fomentar la investigación de las posibles soluciones técnicas a los problemas planteados, tanto por el aprovechamiento de resíduos como por la fabricación de productos fácilmente reciclables.

. estudiar los efectos que cualquier acción encaminada a fomentar el aprovechamiento pueda provocar en los diversos sectores industriales.

. señalar prioridades a la hora de programar actuaciones

. y finalmente, facilitar la labor de todo tipo de entidades interesadas en conseguir los mismos fines.

El apoyo a la labor de dichas entidades corporaciones locales e incluso empresas habría de dirigirse a cubrir sus posibles deficiencias mediante las correspondientes ayudas técnicas y financieras.

Además de una actuación directa como la descrita, se podrían contemplar otra serie de actuaciones indirectas encaminadas a facilitar que se den condiciones de oferta y demanda favorables al desarrollo de procesos e instalaciones de aprovechamiento y a la conquista de posiciones ventajosas de mercado para los productos recuperados. Pueden mencionarse entre otras, las siguientes:

. facilidades fiscales en las inversiones y amortizaciones aceleradas de equipos para las instalaciones de aprovechamiento.

. subvenciones al transporte que juega papel tan decisivo en la economía de resíduos.

. creaciones de centros de recogida selectiva de determinados materiales, tales como latas, botellas o papel.

. desgravaciones en la fabricación de productos a partir de materiales recuperados .

. desgravaciones a la favricación de productos concebidos, tanto el producto en sí mismo como su empaquetamiento o embalaje, para hacer más facil la recuperación de los materiales que contienen.

. garantías de precios para determinados productos recuperados.

. prioridades en las adquisiciones por el Estado para aquellos productos fabricados a partir de materiales recuperados.

. restricciones sobre la utilización de recipientes no recuperables.

. establecimiento de depósitos previos en la adquisición de productos de gran volumen, reembolsables a su entrega en centros autorizados de recuperación.

. gravámenes sobre la eliminación de resíduos no destinados a recuperación; y

. normas estrictas de policía ambiental sobre las condiciones en que debe desarrollarse tal eliminación.

La necesidad de medidas como las expuestas ha sido reconocida por la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos-EPA-, siendo especialmente significativa la declaración del Presidente Nixon, en su mensaje sobre el ambiente del 8 de Febrero de 1972; " La política de impuestos federales debe también ofrecer incentivos al "reciclado" y el Departamento del Tesoro está estudiando la exención de impuestos a aquellos beneficios de industrias que se apliquen a la construcción de instalaciones de recuperación, incluyendo las que se refieren a empresas privadas para el tratamiento de sus propios residuos".

En diversos paises, la respuesta a los problemas planteados ha cristalizado ya políticamente.

En los Estados Unidos, la "Solid Waste Disposal Act" de Octubre de 1965 fue compeltada en Octubre de 1970 por la "Resource Recover y Act", con la que se sancionaba la nueva filosofía de considerar los resíduos como recursos y se preveía destinar fondos federales, por valor de 460 millones de dólares, para actuaciones en este campo hasta el 30 de Junio de 1973. Los aspectos tecnológicos fueron encomendados al Departamento del Interior para su realización por el Bureau of Mines.

De entre las múltiples llamadas de atención sobre el tam en Europa, merecen entresacarse algunas de las ideas contenidas en el informe dirigido por Sicco Mansholt a la Comisión Europea de la CEE que propone textualmente:

. " La lucha contra la contaminación y el agotamiento de las materias primas mediante la reorientación de las inversiones hacia el "reciclado" y las medidas anticontaminantes.

. Un plan quinquenal europeo para el desarrollo de un nuevo sistema de producción no contaminante basado en una economía de circuito cerrado: producción "clean and recycling" (CR)

. Un sistema de certificado de producción (certificados CR).

. Una modificación del regimen del TVA tendente a favorecer los productos provistos de un certificado CR y a gravar más los productos clásicos".

En résumen, se ha producido ya la coalescencia de las múltiples crisis locales provocadas por los resíduos en una crisis mundial. Se está desarrollando una conciencia colectiva sobre este problema y se proponen desde todos los puntos, soluciones similares. La situación ha alcanzado madurez suficiente para que se pase a la acción que se presenta, como destacara un editorial de la revista Chemical Engeneering, en forma de una gran oportunidad para la tecnología.

BIBLIOGRAFIA BASICA SOBRE RESIDUOS

(1) ANDERSON, L.L. "Energy Potential From Organic Wastes: A Rewiew of Quantities and Sources" ; U.S. B. M. ; Cu. s. a); (1972)

(2) ANONIMO; " Methods of Sampling and Analysis of Solid Wastes" , Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control; E. A. W. A. G. ; CH-8600 Dubendorf; Department of Solid Wastes Disposal; (Suiza); (1970)

(3) ANONIMO; " Municipal Waste Disposal"; Ontario Economic Council; (Canadá); (1972)

(4) ANINIMO; " Survey of Solid Wastes Management Practices"; World Health Organization; Centre for Wastes Management; (Suiza); (1970)

(5)ARANCIBIA, N. ; " La Gestión de Resíduos"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C.I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(6) ARANCIBIA, N. "La Gestión de Resíduos"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid) (1977)

(7) ARENAS, M. ; " Análisis de Resíduos Agrarios" ; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid,) (1977).

(8) BAUM, B. PARKER;C. H. ; "Plastics Waste Disposal Practices in Landfill, Incineration, Pyrolisis and Recyde"; Report of Debell and Richardson, Inc. for the Manufacturing Chemists Association, (U. S. A.); (1972).

(9) BUSWELL # SOLLO; " The Mechanism of Methane formation"; Journal of American Chemical Society; (U. S. A.); (1. 972)

(10) BUSWELL, A. M. ; " Anaerobic Fermentations"; Illinois State Water Survey Bulletin; (U. S. A.); (1974)

(11) CARBONELL, E. ; " Sistemas de Recogida. Bienes de Equipo"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(12) CARDELUS, B. ; " Legislación Internacional sobre Resíduos Sólidos"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(13) CARDELUS, B. ; " Ley de Residuos Sólidos Urbanos"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(14) CAVANNA, M. et al. ; "Instalation and Results of the first Spanish Pilot Plantfor the Treatment of Raw Refuse from Madrid (Spain) with U. S. B. M . Technology"; Proceedings IV Mineral Waste Utilization Sym. Inst. Held; (U. S. A.); (1974)

(15) CORDERO, L. ; " Vertido de Resíduos: Elección de Emplazamientos, Técnicas y Proyectos de Vertederos; Curso sobre Problemática de los Residuos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(16) ENADIM S. A. ; " Investigación Básica de la Degradación Anaerobia con Producción de Metano, Aplicada a la Materia Orgánica Contenida en los Resíduos Sólidos de Origen Urbano"; (Madrid); (1976)

(17) ENGDAHL, R. B. ; " Solid Waste Processing. A state-of-the-art Report on Unit Operations and Processes"; Bureau of Solid Waste Management; (U. S. A.); (1970)

(18) FERNANDEZ ALLER, R. ; " Introducción a las Nuevas Tecnologías en el Tratamiento de los Resíduos Sólidos Urbanos: Digestión Anaerobia"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Solidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(19) FERNANDEZ ALLER R. ; " La Pirólisis de los Resíduos Sólidos Urbanos"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(20) FERRANDO, J. A. ; " Impacto de los Resíduos Sólidos en el Medio Ambiente. Clasificación de los Diferentes Tipos de Resíduos"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid,); (1977)

(21) FERRANDO, J. A. ;" Exposición General sobre los Sistemas de Tratamiento, Eliminación y Aprovechamiento"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(22) FERRANDO, J. A. ; " Resíduos Sólidos Urbanos e Industriales"; Jornadas Minero Metalúrgicas, V Nacionales y III Internacionales; (Madrid); (1975)

(23) FIFE, J. A. ; "Solid Waste Disposal: Incineration or Pyrolysis"; Environmental Science and Technology, vol. 7, nº 4; (U. S. A.); (1973)

(24) FLETCHER, A. W. & FRIC, C. ; " Developments in Metal Recover y from Waste"; Sym osium on the Technologt of Reclamation; University of Birmingham; (U. K.); (1975)

(25) HAMMOND, V. L. et al. ; " Pyrolysis- Incineration Process for Solid Waste Disposal"; Battelle Northwest; Final Report for the City of Kennewich; (U. S. A.); (1972)

(26) HEUKELEKIAN, H. ; "Production of Volatile Neutral Compounds during Digestion of Sewage Solids and Industrial Wastes"; Sewage and Industrial Wastes; (U. S. A.) (1. 976)

(27) HEUKELELIAN, H. & HEINEMAN; " Studies on Meyhane Producing Bacteria"; Sewage Works Journal (U. S. A.); (1. 976)

(28) HOLMAN, J. L. & STEPHENSON, J. B. ;" Recycling of Plastics from Urban and Industrial Refuse"; U. S. B. M. ; (U. S. A.); (1974)

(29) JIMENEZ, A. ; "Vertido Controlado. Bienes de Equipo"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(30) JIMENEZ, A. ; "Incineración. Principios Generales. Bines de Equipo"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid,); (1977)

(31) LEBON, C. & VIGIL, F. ; "Informe sobre Establecimiento de la Tasa Municipal por Recogida de Basura Domiciliaria"; Exctmo. Ayuntamiento de Sevilla; (Sevilla); (1968)

(32) LOEHR, R. C. ;" Agricultural Waste Management . Problems, Processes and Approaches"; Ed. Academic Press; (U. S. A.) (1. 974)

(33) LORA, de F. et al., " Técnicas de Defensa del Medio Ambiente"; Ed. Labor; (Barcelona); (1978)

(34) McLOUGHLIN, J. ;" The Law and Practice Relating to Pollution Control in the Member States of the European Communities: a Comparative Survey"; Environmental Resources Limited; Commission of the European Communities; Graham & Trotman Limited; (U. K.); (1978)

(35) MANTELLINI, G. ; " L' Inquinamento del Suolo"; Como; (Italia); (1976)

(36) MARTIN, G. ; " La Recogida de Resíduos en las Grandes Ciudades"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(37) MAS, L. C. ; " Fabricación de Fertilizantes (Compost)"; Seminario de Resíduos Sólidos; III Convención Nacional de la Industria Química; (Madrid); (1971)

(38) MILLER, B. F. et al. ; " Digestion of Poultry Manure by Musca Domestica"; Br. Poultry Science; (U. S. A.); (1974)

(39) MUÑOZ, A. ; " Tratamiento y Reciclado de los Resíduos Sólidos Plásticos"; Curso de Ingeniería Ambiental; E. O. I. ; (Madrid); (1979)

(40) REY, J. M. ; " Obtención de Proteínas a partir de Resíduos Orgánicos de Basuras Domiciliarias"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(41) RIAÑO, E. ; "Resíduos Sólidos Urbanos"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(42) SANCHEZ, J. ; " Reciclado, Clasificación Selectiva"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(43) SAURIN, A. ; "Composición, Recogida y Tratamiento de las Basuras"; Teide; (Barcelona); (1969)

(44) SIERRA, J. ; "Perspectivas de Aprovechamiento Integral de Resíduos Sólidos; Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A. ; (Madrid); (1971)

(45) TEOTIA, J. S. & MILLER, B. F. ; " Nutritive Content of House Fly Pupae and Manure Residue"; Br. Poultry Science; (U. S. A.); (1974)

(46) TEOTIA, J. S. & MILLER; B. F. ; " Fly Pupae as a Dietry Ingredient for Starting Chicks"; Br. Poultry Science; (U. S. A.); (1973).

(47) TEOTIA, J. S. & MILLER, B. F. ; " Environmental Conditions Affecting Development of House Fly Larvae in Poultry Manure"; Environmental Entomology; (U. S. A.); (1973)

(48) THEROUX, F. et al. ; " Laborator y Manual for Chemical and Bacterial Analysis of Water and Sewage"; 3rd ed. ; Mc. Graw-Hill Book Co; (U. S. A.); (1. 943)

(49) VIGIL, F. ; "La Administración ante el Problema de los Resíduos Sólidos"; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(50) VIGIL, F. ; " Las Tasas como Medio de Financiación' ; Curso sobre Problemática de Los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(51) ZUBILLAGA, I. ; "Exposición de los Procesos de Recuperación de Resíduos Industriales en la Factoría de Indumetal, S. A. '; Curso sobre Problemática de los Resíduos Sólidos; C. I. F. C. A. ; (Madrid); (1977)

(52) ZUBILLAGA, I. ; "The Recovery of Metals From Industrial Waste" ; (Madrid); (1976)

TEMA 6

CONTAMINACION POR RUIDO Y VIBRACIONES

ELABORADO POR:

VICENTE MESTRE SANCHO

INDICE

	Pág.
1.- FISICA DEL SONIDO	1
2.- PROPAGACION DEL SONIDO	14
3.- EFECTOS DEL RUIDO	21
4.- CRITERIOS Y LEGISLACIONES EN MATERIA DE RUIDO	33
5.- FUENTES DEL RUIDO EN LA INDUSTRIA	63
6.- CONTROL DEL RUIDO EN LA INDUSTRIA	81
7.- EQUIPOS Y METODOS DE MEDIDA	122
8.- VIBRACIONES	143
9.- BIBLIOGRAFIA.........................	152

1.1 NATURALEZA DEL SONIDO

El sonido es una perturbación que se propaga a través de un medio elástico con una velocidad que es característica del medio. En el aire esta perturbación se manifiesta en forma de pequeñas fluctuaciones de presión.

Las variaciones de presión capaces de ser detectadas por el oído son pequeñísimas, así 0,1 milibares generan un sonido muy intenso (la presión atmosférica es aproximadamente igual a 1.000 milibares).

Por otra parte la energía necesaria para mantener estas variaciones de presión es muy pequeña: una persona gritando emite una potencia acústica de 0,001 watt. Para muchas fuentes sonoras industriales, se estima que la relación entre la potencia sonora radiada y la potencia mecánica está comprendida entre 10^{-4} y 10^{-5}.

Las fluctuaciones u ondas de presión se propagan en el aire en forma rectilínea y con una velocidad que depende de la temperatura únicamente, es decir:

$$c = 331,6 + 0,6\,t \text{ m/seg.}$$

donde t es la temperatura en grados centígrados.

Para que el oído pueda detectar las ondas sonoras, la frecuencia de éstas deberá estar comprendida aproximadamente entre 16Hz y 20000 Hz. Entre la frecuencia f, y la velocidad de propagación de la onda existe la relación:

$$c = \lambda\, f$$

donde λ es la longitud de onda o el espacio recorrido por la onda en un ciclo completo.

1.2 GENERACION DEL SONIDO

Cualquier superficie sólida que vibre generará unas perturbaciones análogas en el medio en que se encuentra. Esta será la fuente más simple de sonido, sin embargo, éste podrá también ser generado por cualquier proceso que implique fluctuaciones periódicas del medio, tal es el caso de las aspas de un ventilador, instrumentos musicales, etc...

En todos los casos en los que el sonido sea generado por una superficie que vibre, la radiación sonora depende de las dimensiones de aquella en relación a la longitud de onda del sonido generado.

Si la superficie es grande comparando con la longitud de onda, existirá una radiación eficiente. En caso contrario la radiación es ineficiente.

El sonido una vez generado se propaga en todas direcciones pudiendo encontrarse en su camino con obstáculos, cumpliéndose:

- Si las dimensiones del obstáculo son menores que la longitud de onda (bajas frecuencias), el sonido no es afectado en su propagación.
- Si las dimensiones del obstáculo son mayores que la longitud de onda (altas frecuencias), el sonido sufre un fenómeno de difracción.

1.3 POTENCIA E INTENSIDAD SONORA

Para que una onda sonora pueda propagarse por un medio elástico será necesaria una cierta energía y físicamente esto indica que se tendrá que realizar un trabajo en la unidad de tiempo, es decir que la fuente de energía sonora tendrá una cierta potencia sonora.

La energía radiada por una fuente en la unidad de tiempo que atraviesa la unidad de superficie es lo que se llama intensidad acústica. Es decir, que la intensidad acústica I, la potencia acústica W y la superficie S están relacionadas por:

$$I = \frac{W}{S}$$

Si se supone una fuente que radia en todas direcciones (radiación esférica), la intensidad a una distancia r de la fuente será:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2}$$

es decir que al aumentar la distancia, la intensidad varía según $1/r^2$, ya que la potencia de la fuente permanece constante.

La intensidad sonora está relacionada con el cuadrado de la presión. En ondas planas, es decir aquellas cuya dirección de propagación es constante en cualquier punto del espacio y esta relación es:

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

donde: ρ es la densidad del aire y c la velocidad del sonido.

Esta última relación es también válida para las ondas esféricas en puntos muy alejados de la fuente, es decir cuando el radio de curvatura sea grande.

1.4 EL DECIBEL

El oído humano es capaz de detectar intensidades sonoras que varían en un amplio margen. Así entre el umbral de audición (mínima señal capaz de ser detectada) y el máximo de audición (o umbral de dolor) existe una relación en términos de intensidad de 10^{14}.

Con el fin de no utilizar cifras tan elevadas y debido a que en el ser humano la sensación producida por un estímulo depende del estado previo de excitación, se utilizaron unidades logarítmicas o decibeles.

Se define el decibel como diez veces el logaritmo decimal de la relación de dos magnitudes, es decir:

$$N = 10 \log \frac{M_1}{M_2} \text{ dB}$$

donde: N es el nivel en decibelés.

M_1 y M_2 son dos magnitudes homogéneas.

1.5. NIVELES DE INTENSIDAD, POTENCIA Y PRESION SONORA

Se define el Nivel de Intensidad Sonora como diez veces el logaritmo decimal de la relación de dos intensidades acústicas.

es decir:

$$SIL = 10 \log \frac{I}{I_o} \text{ dB}$$

donde I_o es la intensidad de referencia y cuyo valor es 10^{-12} watios/m^2.

Se define el Nivel de Potencia Sonora como diez veces el logaritmo decimal de la relación de dos potencias acústicas, es decir:

$$SWL = 10 \log \frac{W}{W_o} \text{ dB}$$

donde W_o es la potencia sonora de referencia y cuyo valor es 10^{-12} watios.

Se define el Nivel de Presión Sonora como veinte veces el logaritmo decimal de la relación de dos presiones acústicas, es decir:

$$SPL = 20 \log \frac{P}{Po} \text{ dB}$$

donde Po es la presión sonora de referencia y cuyo valor es 2×10^{-5} Newton/m^2.

Todos estos valores se muestran a modo de resumen en la Tabla 6.1.1.

TABLA 6.1.1.

NIVELES ACUSTICOS Y VALORES NORMALIZADOS DE REFERENCIA

Nombre	Definición	Referencia
Nivel de presión sonora (gases)	$L_p = 20 \log \frac{P}{Po}$	$Po = 2 \times 10^{-5}$ N/m^2
Nivel de potencia	$L_w = 10 \log \frac{W}{Wo}$	$Wo = 10^{-12}$ watt.
Nivel de intensidad	$L_I = 10 \log \frac{I}{Io}$	$Io = 10^{-12}$ watt/m^2

Según las expresiones anteriores, el doblar la potencia o la intensidad de una fuente sonora equivale a incrementar los respectivos niveles en 3 dB. Sin embargo, al doblar la presión, se incrementa el nivel en 6 dB. Hay que señalar que variaciones de 3 dB en el nivel de presión sonora son las mínimas fluctuaciones detectables por el oído medio. En la Tabla 6.1.2. se presentan las relaciones entre las potencias de una fuente, sus niveles de presión y las sensaciones que experimenta el oído.

TABLA 6.1.2.

ESCALA LINEAL, LOGARITMICA Y SUBJETIVA

POTENCIA DE LA FUENTE	NIVEL DE PRESION SONORA EN dB	AUMENTO DE RUIDOSIDAD
1	x	Referencia
2	x+3	Apenas percep.
3	x+5	Aumento "
5	x+7	50% mas ruidoso
10	x+10	Dos veces "
40	x+16	Tres " "
100	x+20	Cuatro " "

En la Tabla 6.1.3 se muestran los niveles de presión sonora medios existentes en diferentes ambientes, y en la Tabla 6.1.4 se indican los niveles de potencia sonora emitidos por algunas fuentes.

TABLA 6.1.3.

NIVELES DE PRESION SONORA TIPICOS EXSISTENTES EN DIVERSOS AMBIENTES

Presión Sonora (Newton/m²)	Nivel de Presión dB	Ambiente Típico	Sensación Subjetiva
200	140	Despegue avión militar (a 30m)	
63	130	Desbarbado neumático (posición operario)	Intolerable
20	120	Sala de máquinas de un buque	
6,3	110	Prensa automática (posición operario)	
2	100	Sala de imprenta	Muy ruidoso
6,3 10^{-1}	90	Camión pesado (a 6 m)	
2 10^{-1}	80	Calle con mucho tráfico	
6,3 10^{-2}	70	Aparato de radio a elevado volúmen	Ruidoso
2 10^{-2}	60	Restaurante	
6,3 10^{-3}	50	Conversación normal (a 1 m)	
2 10^{-3}	40	Area residencia durante la noche	Poco ruidoso
6,3 10^{-4}	30		
2 10^{-4}	20	Nivel de fondo en estudios de TV	Silencioso
6,3 10^{-5}	10		
2 10^{-5}	0	Umbral de audición	

TABLA 6.1.4.

NIVELES DE POTENCIA EMITIDOS POR DIVERSAS FUENTES

Potencia watios	Nivel de potencia dB	Fuente
25-40 10^6	195	Cohete Saturno
100.000	170	Motor Turbo-jet detras del quemador
10.000	160	Motor Turbo-jet de potencia 3200 Kg.
1.000	150	Cuatrimotor
100	140	
10	130	Orquesta con 75 instrumentos
1	120	Martillo neumático
0,1	110	Ventilador centrifugo (22,000 m^3/h)
0,01	100	Coche en autopista
0,001	90	Voz gritando
0,00001	70	Voz conversando
0,000000001	30	Voz cuchicheando

Para sumar niveles de presión o de potencia será necesario calcular inicialmente las presiones al cuadrado o las potencias, sumar éstas y después obtener el nivel de la suma. Mediante el gráfico de la Figura 6.1.1. pueden realizarse estas sumas de forma rápida, así la suma de los niveles de 75 dB y 77 dB es 77 + 2 = 79 dB.

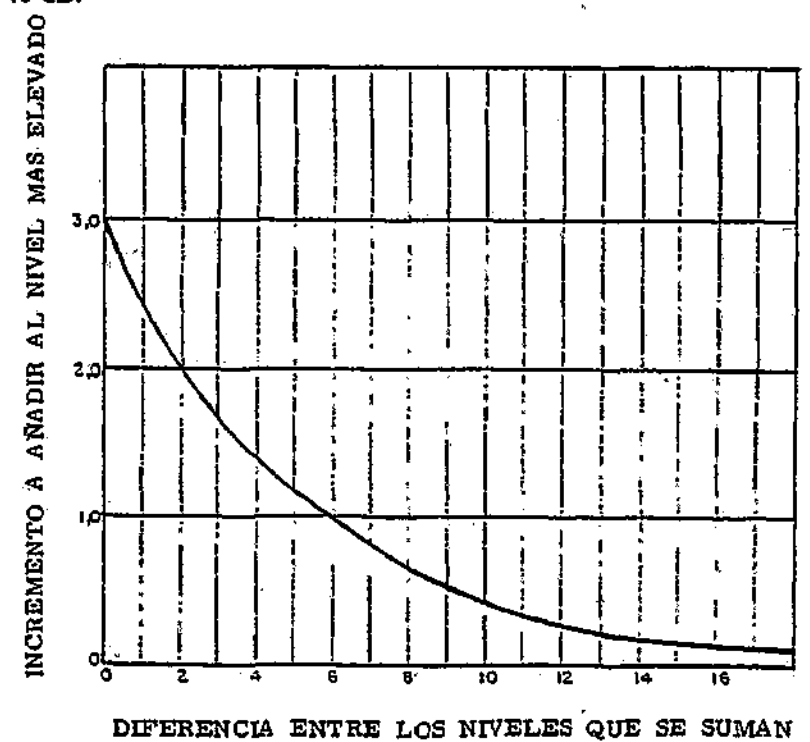


Figura 6.1.1. - Gráfica para la adición de niveles de ruido.

1.6. ANALISIS ESPECTRAL

Un sonido puro es aquel que está compuesto por una sola frecuencia. Sin embargo en la mayor parte de las situaciones, los sonidos que se presentan son combinaciones ordenadas o desordenadas de tonos puros. Estos sonidos compuestos reciben el nombre respectivamente de sonidos periodicos y ruido.

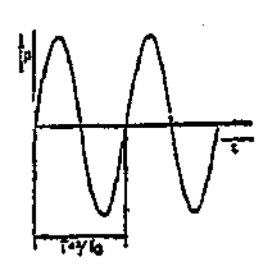
Los sonidos periódicos presentan una onda que repite su forma, es el caso de los sonidos emitidos por los instrumentos musicales (Figura 6.1.2). En el ruido, la onda sonora no es periódica y el estudio debe hacerse de forma estadística (Fig. 6.1.2).

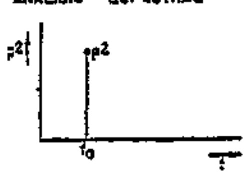
Para definir un tono puro basta conocer el nivel de presión sonora y su frecuencia. Sin embargo un sonido complejo requiere un análisis más complejo. En efecto, en los sonidos complejos será preciso conocer los niveles de presión sonora para cada frecuencia audible, esto es lo que se conoce como análisis espectral (Fig. 6.1.2.)

FORMA DE LA ONDA

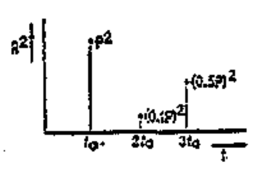
ANALISIS ESPECTRAL



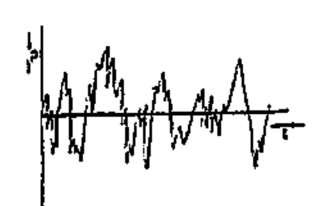


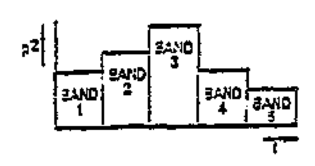


ONDA SINUSOIDAL: $p = P \text{ sen } wt$



ONDA PERIODICA: $p = P_1 \text{ sen } wt + P_2 \text{ sen } 2wt + P_3 \text{ sen } 3wt$





RUIDO

Figura 6.1.2.- Representación de ondas sonoras sinusoidal, periódica y ruido, con sus espectros.

Los tonos puros presentan una unica linea espectral, la correspondiente a su frecuencia. Los sonidos periódicos presentan una serie de líneas espectrales en las que las correspondientes a las frecuencias más altas son múltiplos enteros de la frecuencia inferior o fundamental.

El ruido, al ser un sonido complejo, contiene numerosas fluctuaciones aleatorias distribuidas espectralmente a través de una amplia gama de frecuencias. Se pueden distinguir varios tipos de ruido:

- Random: los valores instantáneos de sus amplitudes siguen una ley probabilística específica.
- Gausiano o normal: si la distribución de sus amplitudes sigue una distribución de Gauss.
- Blanco: si el nivel espectral es constante en todas las frecuencias y la energía espectral del ruido depende del ancho de banda en que sea analizado.
- Rosa: si la energía espectral es independiente del ancho de banda del análisis.

Para simplificar el problema del análisis espectral ha sido preciso dividir el amplio rango de frecuencias audibles en bandas contínuas. La anchura de estas bandas puede ser igual para todas ellas o proporcional a su frecuencia central. Internacionalmente se ha recomendado la utilización de bandas llamadas "octavas", en las cuales la relación entre las frecuencias superior e inferior están en la relación 2:1. Cada una de las bandas se define por la frecuencia correspondiente al valor central de la banda (Tabla 6.1.5). También está recomendado el uso de bandas de tercio de octava en los que la relación entre las frecuencias superior e inferior es $\sqrt[3]{2}$ (Tabla 6.1.5).

TABLA 6.1.5.

BANDAS NORMALIZADAS DE FRECUENCIA

OCTAVAS			TERCIOS DE OCTAVA		
Frecuencia inferior	Frecuencia central	Frecuencia superior	Frecuencia inferior	Frecuencia central	Frecuencia superior
			17,8	20	22,4
			22,4	25	28,2
22	31,5	44	28,2	31,5	35,5
			35,5	40	44,7
			44,7	50	56,2
44	63	88	56,2	63	70,8
			70,8	80	89,1
			89,1	100	112
88	125	177	112	125	141
			141	160	178
			178	200	224
177	250	355	224	250	282
			282	315	355
			355	400	447
355	509	740	447	500	562
			562	630	708
			708	800	891
710	1000	1420	891	1000	1122
			1222	1250	1413
			1413	1600	1778
1420	2000	2840	1778	2000	2239
			2239	2500	2818
			2818	3150	3548
2840	4000	5680	3548	4000	4467
			4467	5000	5623
			5623	6300	7079
5680	8000	11360	7079	8000	8913
			8913	10000	11220
			11220	12500	14130
11360	16000	22720	14130	16000	17780
			17780	20000	22390

Para conocer el nivel total conociendo el espectro bastará sumar los niveles de cada una de las bandas de frecuencia (Figura 6.1.3.)

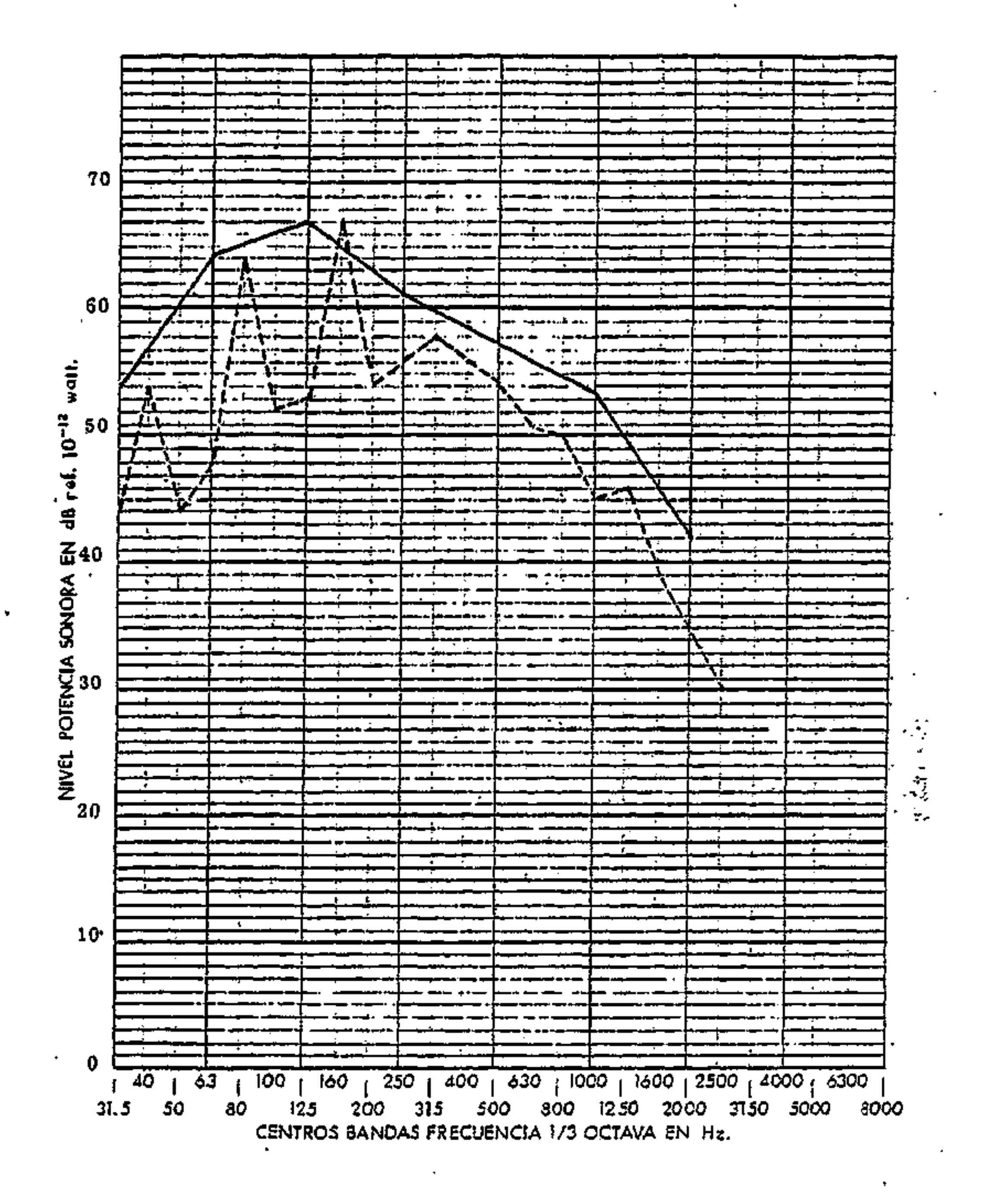


Figura 6.1.3. - Análisis espectral de un ruido en:

- - - bandas tercio de octava.

——— bandas de octava

1.7. CURVAS DE AUDICION

En la Figura 6.1.4. se presentan las curvas de igual audición. Según estas curvas, el oido es selectivo a la hora de detectar las distintas frecuencias. Así, sonidos de diferentes frecuencias pero igual nivel de presión sonora, provocan sensaciones distintas.

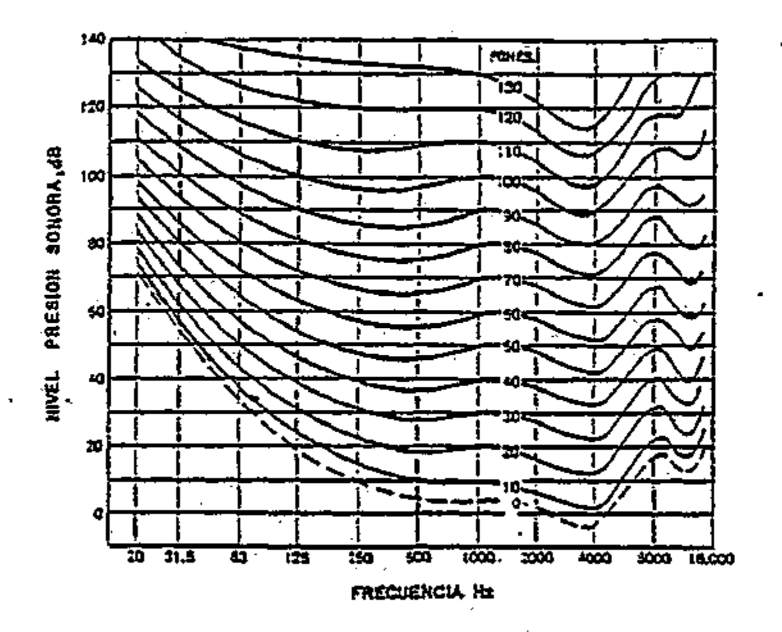


Figura 6.1.4.- Curvas de igual sonoridad.

Esta sensibilidad del oido es máxima en la zona de frecuencias comprendida entre los 1.000 Hz. y los 4.000 Hz.

Estas curvas de igual nivel de sonoridad están medidas en fones, se dice que un sonido compuesto o ruido tiene un nivel *f* de fones cuando comparado con un tono de referencia puro de 1.000 Hz. y un nivel de presión sonora de f dB es juzgado por un observador normal como teniendo la misma sonoridad que el tono patrón.

La unidad de sonoridad es el Son. El Son se define como la sonoridad percibida por un individuo medio al oir un tono de 1.000 Hz. a un nivel de presión sonora de 40 dB. A un sonido considerado dos veces más sonoro le corresponde en esta escala un valor de 2 sones.

La relación existente entre la Sonoridad, en sones, de un ruido cualquiera y su Nivel de Sonoridad, en Fones, es la siguiente.

$$S \text{ (sones)} = 2^{(F(\text{fones}) - 40)/10}$$

Esta relación se presenta en forma gráfica en la Figura 6.1.5.

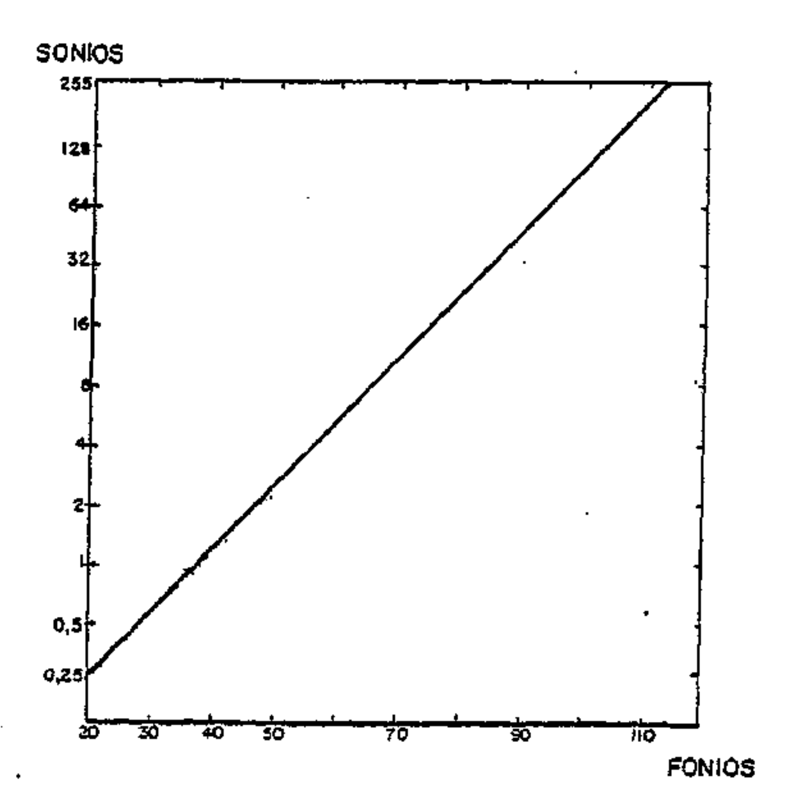


Figura 6.1.5.- Relación entre Fonios y Sonios.

1.8. CURVAS DE PONDERACION

Como consecuencia de que la respuesta del oído humano no es lineal con la frecuencia, la medida del ruido en términos de su nivel de presión sonora total indica de manera muy pobre lo que el individuo oye. Para simular en los equipos de medición las características de la audición, se introdujeron Redes o Curvas de Ponderación, que en definitiva no son más que unos filtros electrónicos que modifican la señal acústica según unas determinadas conexiones para cada una de las bandas de frecuencia.

Las tres redes de compensación normalmente utilizadas son (Figura 6.1.6):

- La red "A", que corresponde con el contorno de 40 fones y corrige las frecuencias altas y bajas.
- La red "B", que recuerda el contorno de 70 fones y rectifica las frecuencias muy bajas.
- La red "C", que corresponde a una respuesta prácticamente lineal.

Las medidas obtenidas por lectura directa en los sonómetros usando estos filtros reciben el nombre de Niveles Sonoros expresados en dB(A), dB(B) y dB(C) dependiendo de la red usada. En la Tabla 6.1.6. se muestran las correcciones a aplicar en los niveles de presión sonora en bandas de octava con el fin de obtener los niveles sonoros.

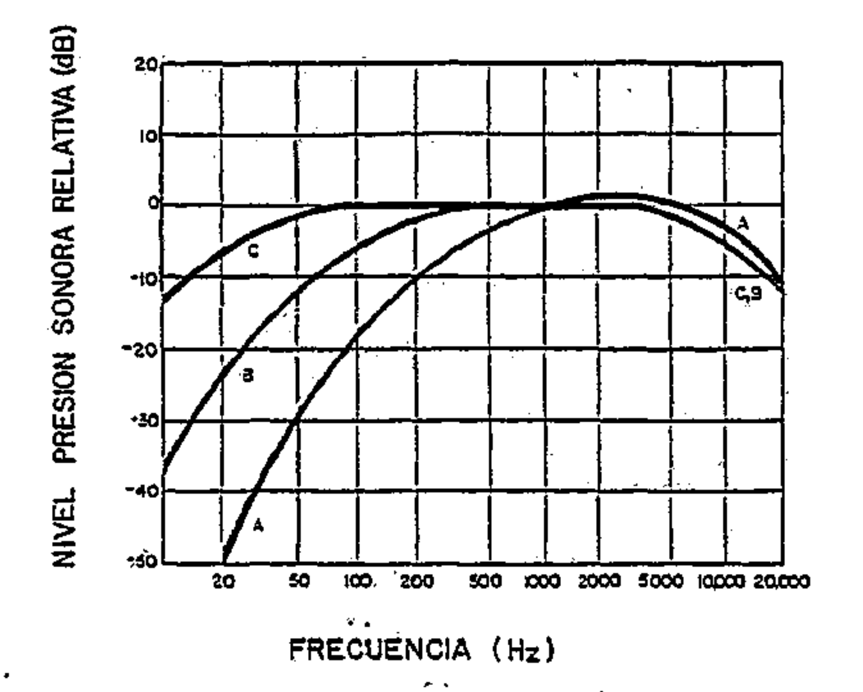


Figura 6.1.6.- Curvas normalizadas de compensación A, B y C.

TABLA 6.1.6.

CORRECCIONES PARA EL CALCULO DE LOS NIVELES SONOROS

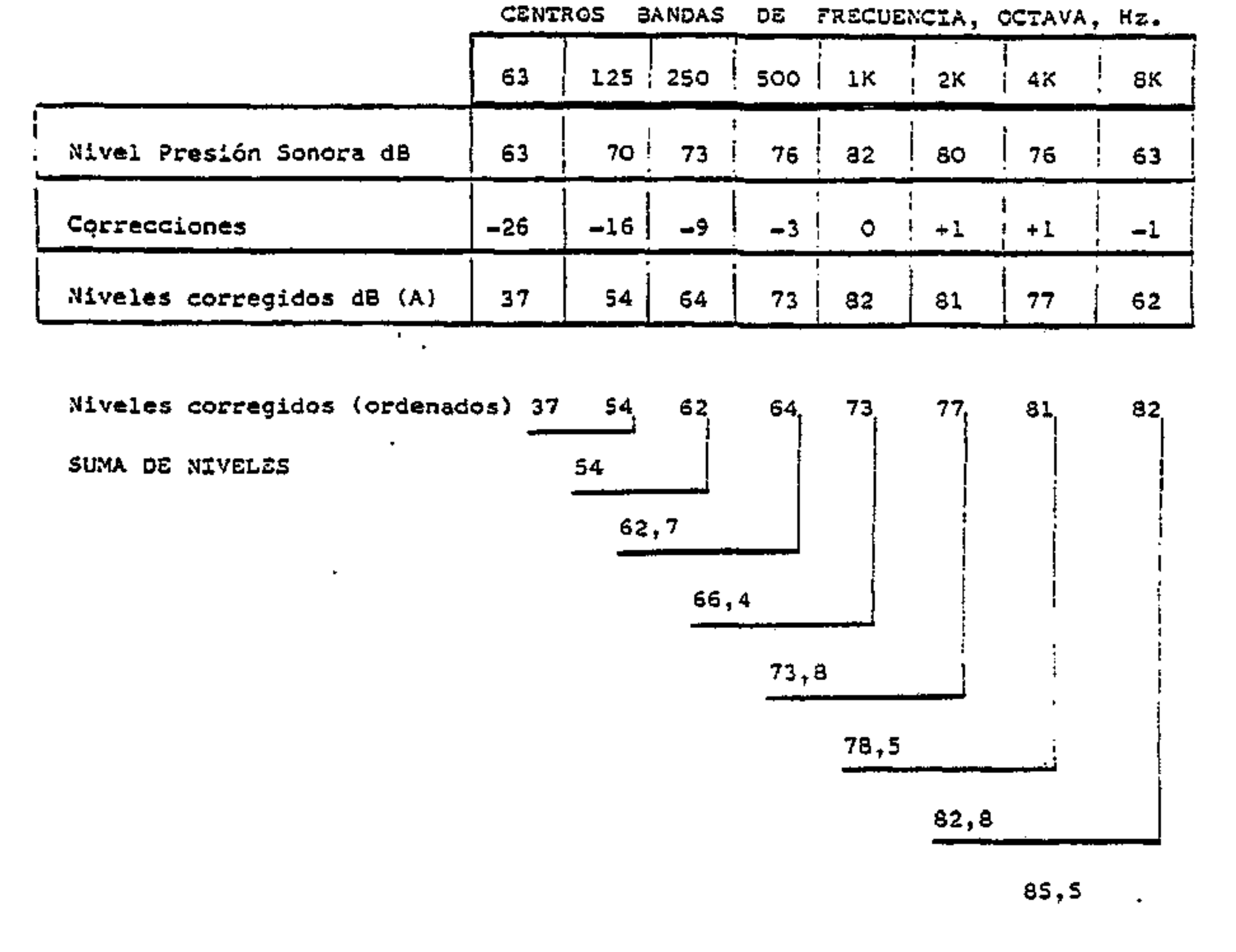
Banda Frecuencia Hz	Corrección en dB		
	Red A	Red B	Red C
31,5	- 39	- 17	- 3
63	- 26	- 9	- 1
125	- 16	- 4	0
250	- 9	- 1	0
500	- 3	0	0
1000	0	0	0
2000	+ 1	0	0
4000	+ 1	- 1	- 1
8000	- 1	- 3	- 3

Inicialmente se pretendía que la red A se usara para medir niveles de presión inferiores a 55 dB; la red B, para niveles comprendidos entre 55 dB y 85 dB; y la red C para niveles superiores a 85 dB. Sin embargo en la actualidad es la red A la que se utiliza más ampliamente por correlacionar mejor con la respuesta subjetiva de la comunidad frente al ruido.

Un ejemplo del cálculo del nivel sonoro a partir del espectro de un ruido está dado en la Tabla 6.1.7.

TABLA 6.1.7

CALCULO DEL NIVEL SONORO



	CENTROS BANDAS DE FRECUENCIA, OCTAVA, Hz.							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Nivel Presión Sonora dB	63	70	73	76	82	80	76	63
Correcciones	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1
Niveles corregidos dB (A)	37	54	64	73	82	81	77	62

NIVEL SONORO RESULTANTE . . . . 85,5 dB (A)

1.9. TIPOS DE RUIDO

Ruido contínuo.

Son aquellos ruidos en los que ni los niveles de presión acústica, ni su espectro de frecuencia, varían con el tiempo. Este tipo de ruido no se encuentra frecuentemente en las instalaciones industriales.

Ruido intermitente.

Es aquél ruido en que el nivel de presión acústica y el espectro de frecuencias varían constantemente entre límites estrechos. En algunos casos, como por ejemplo en las prensas excéntricas, la variación del nivel de presión acústica y el espectro de frecuencias es periódico.

Es el tipo de ruido más común que se presenta en la industria, y en general, puede descomponerse en un ruido de fondo con pequeñas variaciones del nivel de presión acústica.

Ruido de impacto.

Es un proceso sonoro de muy corta duración ($t < 200$ mseg) y de un nivel de presión acústica relativamente elevado. Originado por el choque de dos superficies sólidas.

Ruido impulsivo.

Es un proceso sonor de muy corta duración y de niveles de presión acústica relativamente elevados. Se diferencia del ruido de impacto en que está originado por variaciones bruscas de presión.

2.1 PROPAGACION DEL SONIDO EN CONDICIONES DE CAMPO LIBRE

La energía sonora radiada por una fuente se distribuye en todas direcciones al propagarse por la atmósfera, alcanzando áreas muy alejadas de dicha fuente.

En un espacio abierto, una fuente puntual con un Nivel de Potencia Sonora SWL, produce en un punto situado a una distancia r de ella, un Nivel de Presión Sonora, SPL, dado por:

$$SPL = SWL - 20 \log r - 11 - A + DI$$

donde A es el exceso de atenuación debido a causas ambientales.

DI es el índice de direccionalidad definido como:

$$DI = 10 \log Q$$

siendo Q el factor de direccionalidad, definido, para una frecuencia determinada, como la relación entre el valor cuadrático medio de la presión sonora a una distancia fija del equipo de medidas y para una dirección específica y la presión cuadrática media para la misma distancia, promediada sobre todas las direcciones.

Los valores más usales de Q son 1, 2, 4 y 8, dependiendo que la fuente sonora esté situada, respectivamente, en el centro del espacio abierto, sobre una superficie, en la intersección de dos planos y en la intersección de tres planos.

Según la ecuación anterior, la variación teórica del Nivel de Presión Sonora con la distancia, para una misma fuente, es:

$$SPL_2 = SPL_1 - 20 \log (r_2/r_1) \qquad (r_2 > r_1)$$

Es decir, existirá una disminución de 6 decibelios cada vez que se dobla la distancia a la fuente sonora, esto es la característica de campo libre.

En el caso de tratarse de una fuente sonora lineal, la variación teórica es de 3 decibelios por doble de distancia:

$$SPL_2 = SPL_1 - 10 \log (r_2/r_1) \qquad (r_2 > r_1)$$

En la práctica estas variaciones con la distancia de los niveles de ruido se modifican por atenuaciones producidas por factores ambientales. Entre estos factores se tienen:

- La absorción del aire, originada por la transformación de la energía sonora en calorífica por fenómenos de viscosidad y vibración de las moléculas de O_2. Depende de la temperatura y de la humedad relativa.

En la Fig.6.2.1. se presentan los valores de la atenuación ofrecida por el aire para las distintas frecuencias. En la Tabla 6.2.1. las mismas atenuaciones, dependiendo de la humedad relativa y de la temperatura.

- La temperatura. La velocidad del sonido depende de la temperatura, consecuentemente la variación de ésta con la altura origina efectos de difracción de las ondas sonoras.

En condiciones normales, la temperatura decrece con la altura sobre el suelo, originando que los rayos sonoros se propaguen como se indica en la Fig.6.2.2.a. Las inversiones de temperatura originará por el contrario fenómenos como los indicados en la Fig. 6.2.2.b.

En la primera situación se producirán sombras sonoras, no así en la segunda de ellas. Las inversiones de temperatura origina que en puntos alejados de la fuente sonora se produzcan niveles sonoros más elevados que los que se producirían en condiciones normales.

- El viento y las turbulencias. Estos fenómenos favorecen la propagación de las ondas sonoras en la dirección en que se mueve el aire.

En general, la velocidad del viento aumenta al aumentar la altura sobre el suelo, consecuentemente las ondas sonoras se propagarán como indica la Fig. 6.2.3.

- Nive, niebla y lluvia. La presencia de estos fenómenos meteorológicos origina una disminución de las actividades de la comunidad y consecuentemente del nivel de ruido de fondo, produciéndose entonces la sensación de que el sonido se propaga con mayor facilidad.

- La vegetación. Los árboles producen en la mayor parte de las situaciones más una sensación subjetiva de atenuación del sonido que un efecto real. Igualmente el terreno puede ofrecer una atenuación para la propagación rasante y cuyo valor depende del recubrimiento del suelo.

En la Tabla 6.2.2 se muestran los valores de las atenuaciones ofrecidas por diversos tipos de vegetación.

- Barreras acústicas, definidas como aquellas superficies naturales o artificiales que se interponen en la marcha de las ondas sonoras impidiendo su propagación y creando una zona silenciosa llamada "sombra acústica". (Cap. 5).

2.2 PROPAGACION DEL SONIDO EN RECINTOS CERRADOS

La energía sonora radiada por una fuente en el interior de un recinto cerrado, sufre una serie de reflexiones al chocar contra las superficies de éste. En un punto cualquiera y en un instante determinado, el nivel de presión que existe en él es la contribución del sonido directo procedente de la fuente y del reflejo en las paredes y superficies. Esta segunda contribución, llamada campo reverberante (en oposición a la primera llamada campo directo), es la causa de que el nivel de sonido aumente en el interior de un local respecto al que existiría para las mismas condiciones en el exterior.

Mientras que, el sonido directo es función únicamente de la potencia de la fuente sonora y de la distancia a ella, los sonidos reflejados serán función del camino recorrido, del número de reflexiones y de la absorción sufrida en cada una de éstas. Como consecuencia de todo ésto el nivel resultante estará influenciado por las dimensiones del local y materiales que recubren las superficies de éste.

TABLA 6.2.1.

Atenuación del sonido por el aire. Según ISO TC43.

Frecuencia media de octava en Hz	Temperatura en ºC	Atenuación en dB/100 m con una humedad relativa del 40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
63	0 - 30	0	0	0	0	0	0	0
125	0 - 30	0	0	0	0	0	0	0
250	0 - 30	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
500	0 - 15	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
	>15 - 30	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1.000	0	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
	5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
	10	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
	15	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
	20	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	25	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	30	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2.000	0	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0
	5	2,0	1,6	1,2	1,1	0,9	0,8	0,7
	10	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
	15	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
	20	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
	25	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
	30	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
4.000	0	7,4	6,8	6,0	5,3	4,6	4,1	3,7
	5	7,1	6,3	5,3	4,6	4,0	3,6	3,3
	10	6,9	5,4	4,6	3,9	3,4	3,1	2,8
	15	5,6	4,4	3,6	3,0	2,6	2,3	2,1
	20	3,2	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,2
	25	2,5	2,0	1,6	1,3	1,2	1,1	0,9
	30	2.0	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8
8.000	0	14	15,5	16	15	14,5	14	13
	5	17,5	17	15	14	12,5	11,5	10,5
	10	17,5	15	13	11	9,8	8,8	7,9
	15	15	12,5	10,5	8,9	7,5	6,6	6,0
	20	12	9,8	8,1	6,8	5,9	5,2	4,6
	25	9,5	7,8	6,5	5,3	4,6	4,1	3,7
	30	7,5	6,0	5,0	4,3	3,8	3,3	3,0

TABLA 6.2.2.

Atenuación sonora para propagación sobre distintos tipos de vegetación (dB/100 m)

Tipo de Vegetación	Frecuencia (Hz) 125	250	500	1.000	2.000	4.000
Hierba escasa 0,1 - 0,2 m. de altura	0,5	--	--	3	--	--
Hierba espesa 0,4 - 0,5 m. de altura	0,5	--	--	12	--	--
Arboles hoja perenne	7	11	14	17	19	20
Arboles hoja caduca	2	4	6	9	12	16

Figura 6.2.1.

Atenuación media del sonido debida al aire.

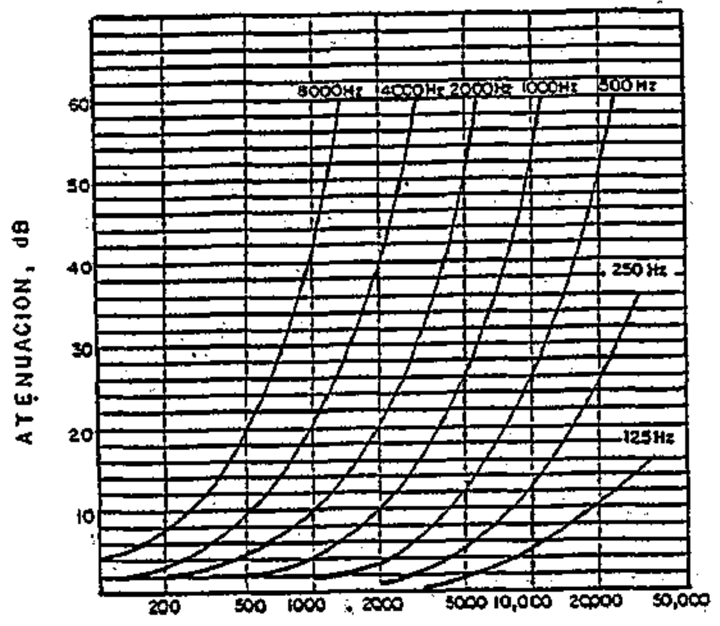
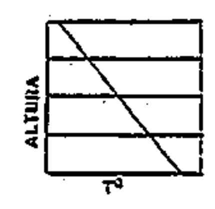


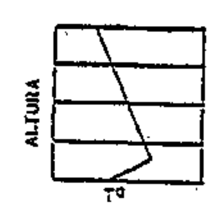
Figura 6.2.2.

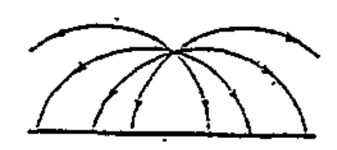
Propagación de los rayos sonoros en la atmósfera.



SOMBRA ACUSTICA

a) Condiciones normales





b) Inversión de temperatura

Figura 6.2.3.

Propagación de las ondas sonoras con el viento.

DIRECCION DEL VIENTO

DIRECCION DE PROPAGACION DEL SONIDO

En el interior de un recinto cerrado, una fuente puntual con un Nivel de Potencia Sonora, SWL, produce en un punto situado a una distancia r de ella, un Nivel de Presión Sonora, SPL, dado por la expresión

$$SPL = SWL + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

donde:

Q es el factor de direccionalidad de la fuente

R es la constante del recinto, definida por

$$R = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

siendo S la superficie total del recinto y $\bar{\alpha}$ el coeficiente de absorción medio del recinto definido por

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i}$$

siendo:

S_i la superficie del recinto

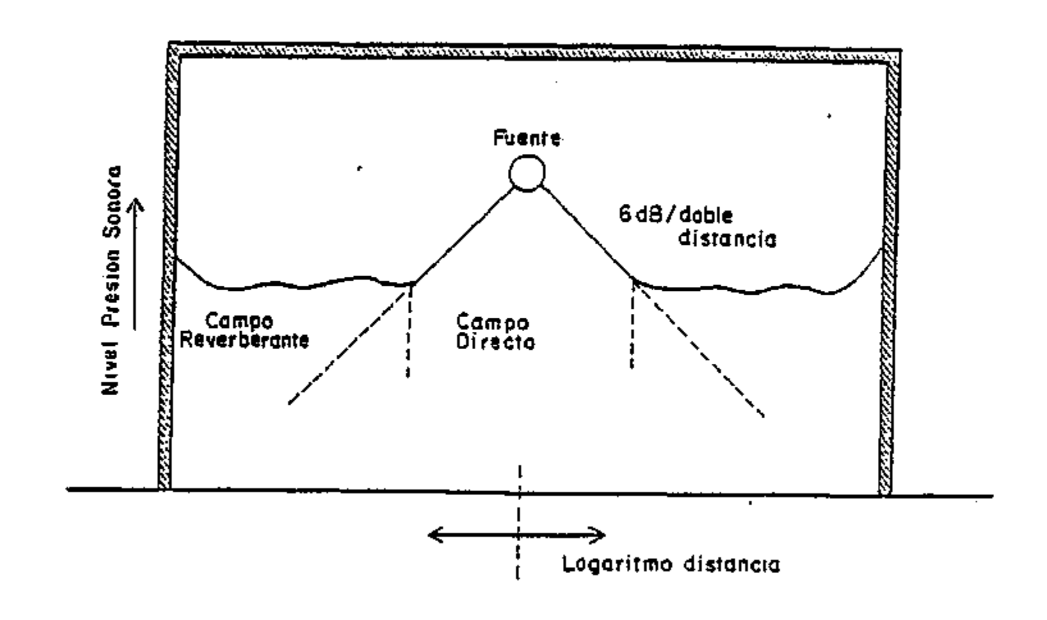
α_i el coeficiente de absorción del material que constituye la superficie i.

(Se define el coeficiente de absorción de un material como la relación entre la energía sonora que absorbe y la que incide sobre él).

En el campo sonoro generado por una fuente en el interior de un recinto cerrado podrán distinguirse dos zonas (Fig. 6.2.4) :

Figura 6.2.4.

CAMPO SONORO EN UN RECINTO CERRADO



- Una región situada en las proximidades de la fuente, donde predomina el primer término del paréntesis, es decir se cumplen las condiciones de campo libre, esto es, una disminución de 6 decibelios cada vez que se dobla la distancia a la fuente.

- Una segunda región alejada de la fuente (predominio del segundo sumando) donde el campo es prácticamente constante, independiente de la distancia a la fuente, es decir son condiciones de campo reverberante.

2.3 TIEMPO DE REVERBERACION

La medida de las reflexiones que sufren las ondas sonoras en el interior de un local lo constituye el Tiempo de Reverberación, definido como el lapso de tiempo, expresado en segundo, que tarde la densidad media de energía acústica existente en dicho local en disminuir, hasta alcanzar una millonésima parte de su valor inicial, después que la fuente acústica haya cesado de emitir energía. En términos de decibelios, el tiempo de reverberación es el tiempo que transcurre hasta que el nivel inicial disminuy 60 dB su valor, al cesar la fuente sonora.

Existen varias expresiones para el cálculo del tiempo de reverberación de un local:

Fórmula de Sabine.- Sabine dedujo, basándose en la ley exponencial del decrecimiento de la intensidad energética, que el tiempo de reverberación en segundos T, de un local viene dado por la expresión.

$$T = \frac{0'16\ V}{S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3 \ldots}$$

Donde V es el volumen del local en m^3, $S_1, S_2 \ldots$, las distintas superficies envolventes de dicho local en m^2 y $\alpha_1, \alpha_2, \ldots$, los coeficientes de absorción correspondientes a dichas superficies.

Fórmula de Eyring.- Eyring supone, a diferencia de Sabine, que la absorción se realiza en forma discontínua y deduce la fórmula siguiente:

$$T = \frac{-0'16\ V}{S \ln (1 - \alpha m)}$$

Similar a la de Sabine y donde S es la suma de las distintas superficies que componen el local y αm la absorción media de las mismas.

$$\alpha m = \frac{S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \ldots}{S}$$

Fórmula de Millington.- Dado que en la fórmula de Eyring las distintas superficies deben poseer un coeficiente de absorción muy parecido para que esta se verifique correctamente, Millington deduce su fórmula suponiendo por separado cada superficie con su coeficiente de absorción correspondiente.

$$T = \frac{-0'16\ V}{S_1 \ln(1-\alpha_1) + S_2 \ln(1-\alpha_2) + \ldots}$$

en ella el logaritmo se aplica para cada absorción distinta.

Comparación de las fórmulas.- Las tres fórmulas son utilizadas en el cálculo de tiempos de reverberación, el empleo normal de las mismas puede apoyarse en las consideraciones siguientes:

Sabine:

- si el coeficiente medio de absorción es relativamente bajo ($\leq 0,25$);
- si los materiales absorbentes están distribuidos uniformemente;
- si los valores de los coeficientes de absorción no ofrecen muchas garantías; en general como estudio de predimensionado.

Eyring:

- si los materiales absorbentes están distribuidos uniformemente;
- si los valores de los coeficientes de absorción son exactos;
- si se requiere un cálculo preciso.

Millington:

- si los materiales absorbentes no están uniformemente distribuidos;
- si las superficies son todas grandes y no hay ninguna muy fuertemente absorbente;
- si los valores de los coeficientes de absorción son exactos y se requiere exactitud.

3.1. INTRODUCCION

El ruido ha sido definido como "todo sonido no destacado". Si bien esta definición implica un carácter subjetivo del mismo, los efectos del ruido en el hombre distan mucho de comprender sólo este carácter.

El ruido puede producir:

a) Efectos fisiológicos (deterioro de la audición).
b) Efectos psicológicos (interferencia con la comunicación hablada y con el descanso y el sueño).
c) Efectos en el trabajo
d) Efectos subjetivos (molestia e irritación).
e) Efectos directos sobre la salud.

De entre todos estos efectos, sólo los fisiológicos podrán conocerse, con razonable exactitud, mediante el uso del equipo instrumental adecuado, mientras que el resto de dichos efectos se podrán determinar mediante la respuesta subjetiva de los individuos expuestos al ruido, con lo cual deberán emplearse métodos estadísticos para su estudio.

3.2. EFECTOS FISIOLOGICOS

El oído humano no presenta igual sensibilidad para todo el rango de las frecuencias audibles (aproximadamente, de 20 a 20.000 Hz); por otra parte, existirán variaciones lógicas entre los valores mínimos de presión sonora detectables por cada uno de los individuos. Sin embargo, se ha podido determinar cuáles son los mínimos detectables, llamándose al conjunto de estos niveles "umbral de audición" (Fig. 6.3.1.)

Este umbral de audición varía con la edad del individuo, fenómeno clínicamente conocido como presbiacusia. Las figuras 6.3.2 y 6.3.3 presentan la presbiacusia previsible, en hombres y mujeres, para diversas frecuencias en función de la edad del individuo.

Además de esta pérdida progresiva de audición debida a la edad existen otras causas que pueden producir sordera. Según la parte del oído afectada, estas causas son:

- Oído externo: Taponamiento completo del canal, debido a secreciones de cera, tumores, etc.
- Oído medio: Ruptura de la membrana timpánica, otosclerosis, otitis medias, fibrosis, etc.
- Oído interno: Pérdidas de audición congénitas, enfermedad de Menière, infecciones vestibulares, exposiciones prolongadas a niveles excesivos de ruidos o exposiciones instantáneas a niveles muy altos producidos por impactos, etc.

La presencia de tumores cerebrales o tumores en el nervio transmisor son también causa de sordera. Incluso puede no existir daño físico y presentarse un tipo de sordera, llamado no orgánica, que puede ser imaginaria, supuesta, por histeria, etc.

El ruido es, pues, una de las múltiples causas que pueden originar la pérdida de audición en los individuos.

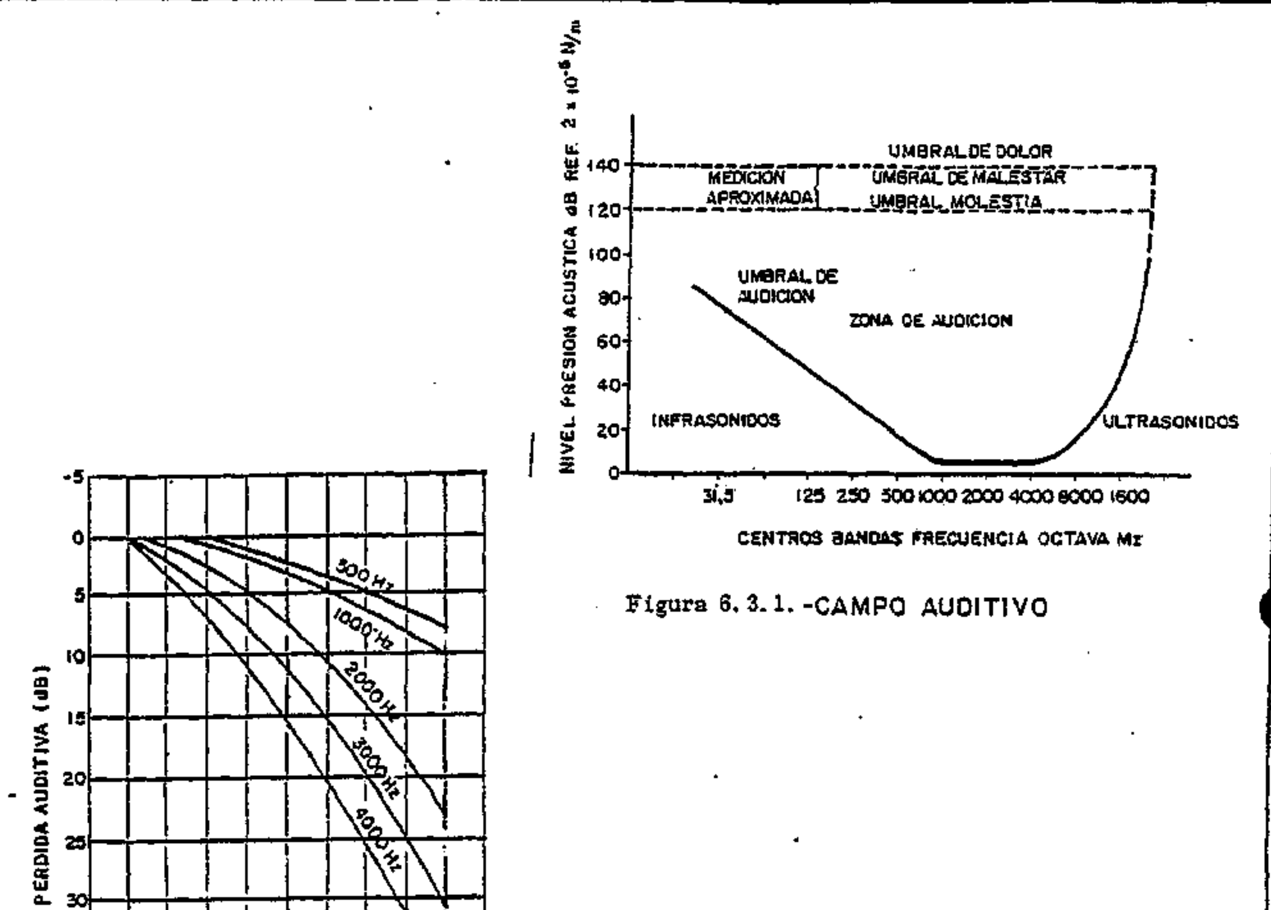


Figura 6.3.1. -CAMPO AUDITIVO

FIG.3.3.2.CURVAS DE PREBIACUSIA EN LOS HOMBRES: PERDIDA AUDITIVA PREVISIBLE CON LA EDAD.

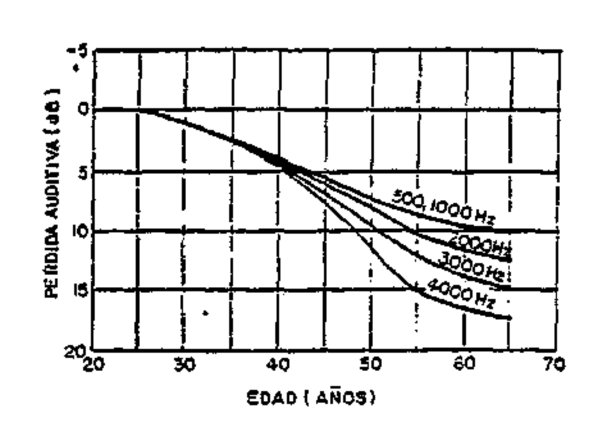


FIG.3.3.3.CURVAS DE PREBIACUSIA EN LAS MUJERES: PERDIDA AUDITIVA MEDIA PREVISIBLE CON LA EDAD.

La Comisión I.S.O. establece en su Recomendación R-1999, que existe un deterioro de audición originada por ruido o sordera profesional, cuando la media aritmética de las pérdidas auditivas para las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz, supera los 25 dB. En la Tabla (6.3.1)se presenta la clasificación de las pérdidas de audición.

La pérdida de audición inducida por ruido (PAIR) presenta las características siguientes:

- Es irreversible, por la incapacidad de regeneración de las células ciliares de la audición.
- Puede prevenirse, ya que se conocen los niveles sonoros a partir de los cuales existe riesgo de sordera.
- No es progresiva siempre que el oído lesionado deje de estar sometido a los niveles de ruido estimados peligrosos.
- Cada individuo presenta una susceptibilidad distinta frente al ruido.
- La sordera puede ir acompañada de otros efectos secundarios (taquicardias, pitidos en los oídos, vómitos, etc.).

3.2.1. Evolución de la pérdida de audición inducida por ruido

El oído, como cualquier otro sentido, se transforma en menos sensitivo a la respuesta después de una cierta duración de estímulo perturbador. Puede decirse que el oído se adapta gradualmente a las condiciones normales anteriores a la causa que lo excitó. Por otra parte, si es estimulado excesivamente, ocurre que el período de descanso requerido antes de que retorne a las condiciones normales es más largo de lo habitual; se dice entonces que el órgano está fatigado.

La diferencia entre estos dos conceptos, adaptación y fatiga, es difícil de establecer. Sin embargo, puede establecerse que después de cesar el estímulo excitador transcurre un período de tiempo durante el cual la sensibilidad del receptor está por debajo del nivel normal de audición. Si transcurrido un período llamado crítico esta pérdida de sensibilidad permanece, puede considerarse que existe fatiga.

En el oído, esta fatiga acústica se manifiesta por la elevación del umbral de audición (siendo éste el nivel de sonido más bajo que puede una persona oir) y se dice que existe un Desplazamiento Temporal del Umbral (DTU).

Si esta recuperación se prolonga, por lo menos, más de cuarenta horas se dice que existe un desplazamiento persistente del umbral, mientras que si esta recuperación no se produce se dice que existe un Desplazamiento Permanente del Umbral (DPU), existiendo una sordera producida por ruido. Este proceso puede también ser más rápido, obteniéndose un DPU por una exposición de corta duración, pero de elevado nivel de presión sonora, y entonces se habla de Trauma Acústico. Este trauma se produce en explosiones, disparos, etc.

Actualmente se conoce que casi cualquier ruido produce una alteración en el umbral de audición, y ésta durará, dependiendo de la naturaleza del ruido, el tiempo de exposición y de la susceptibilidad del individuo, por un período que puede ser segundos, horas, días, etc.

3.2.2. Desplazamiento temporal del umbral de audición (DTU)

La Organización Internacional de Normalización (ISO) define el DTU como "una elevación del nivel del umbral auditivo, a raíz de una exposición al ruido, en la que se aprecia un retorno progresivo al ni-

vel anterior a la exposición, con recuperación total en menos de diez días".

Por estudios realizados se sabe que tanto el valor del DTU producido como la frecuencia a la que se manifiesta y el tiempo de recuperación son función del nivel, de la duración de exposición y de la frecuencia del ruido. Sin embargo, una relación única es muy difícil de establecer, ya que a las diversas variables anteriores hay que añadir la susceptibilidad del individuo.

Las características del DTU son:

- La variación con el tiempo de exposición para tonos puros es logarítmica, según la expresión

$$DTU = K \log t.$$

donde K es una constante que depende, entre otros factores, del nivel de presión sonora de la excitación, y t es el tiempo de exposición (Fig. 6.3.4)
- El DTU, para tonos puros, se incrementa al aumentar el nivel de presión sonora de la excitación, primero de manera uniforme, pero al llegar a un nivel crítico de presión sonora este aumento es muy rápido.
- Para ruidos de banda estrecha o tonos puros y niveles altos de exposición, el DTU se manifiesta en una frecuencia localizada 1/2 octava por encima de la frecuencia del estímulo.
- Para ruidos de banda ancha, es en la región comprendida entre 3 y 6 KHz donde se manifiesta el DTU, especialmente en la banda de octava centralizada en 4 KHz.

Los ruidos de banda ancha producen menor DTU que los tonos puros.
- Las altas frecuencias producirán mayores DTU.
- Los ruidos intermitentes producen menor DTU que los ruidos continuos de la misma energía.
- La recuperación del umbral de audición tras un DTU depende del valor de la pérdida inicial, pudiendo establecerse que el desplazamiento remanente del umbral, es proporcional al tiempo transcurrido desde que cesó la excitación. Sin embargo, para DTU mayores que 50 dB existe un cierto retraso y el proceso de recuperación es logarítmico en el tiempo, para después de las primeras quince-veinte horas ser lineal.

3.2.3. Desplazamiento permanente del umbral de audición (DPU)

Es evidente que cada persona tendrá una susceptibilidad para el ruido y, por tanto, presentará un límite de exposición compatible con la recuperación de la audición tras estar sometido a aquel; si este límite es excedido, el desplazamiento del umbral de audición será permanente (DPU) y se presentará una sordera. El proceso del paso DTU a DPU no está claramente definido, pero se puede decir que un excesivo DTU conducirá, en la mayor parte de los casos, a un DPU.

La existencia de un DPU puede no ser notado en un principio por el individuo o puede considerarlo como una pérdida de audición debida a la edad (presbiacusia).

La existencia de un DPU se pone de manifiesto por la presencia de pitidos en los oidos y por la torpeza en escuchar; así, los sonidos de alta frecuencia y baja intensidad (las consonantes) se pierden, mientras las vocales, de baja frecuencia y alta intensidad, se siguen oyendo. Al llevar las consonantes la mayor parte de la información hablada, hay una pequeña reducción en volumen, pero el contenido se --

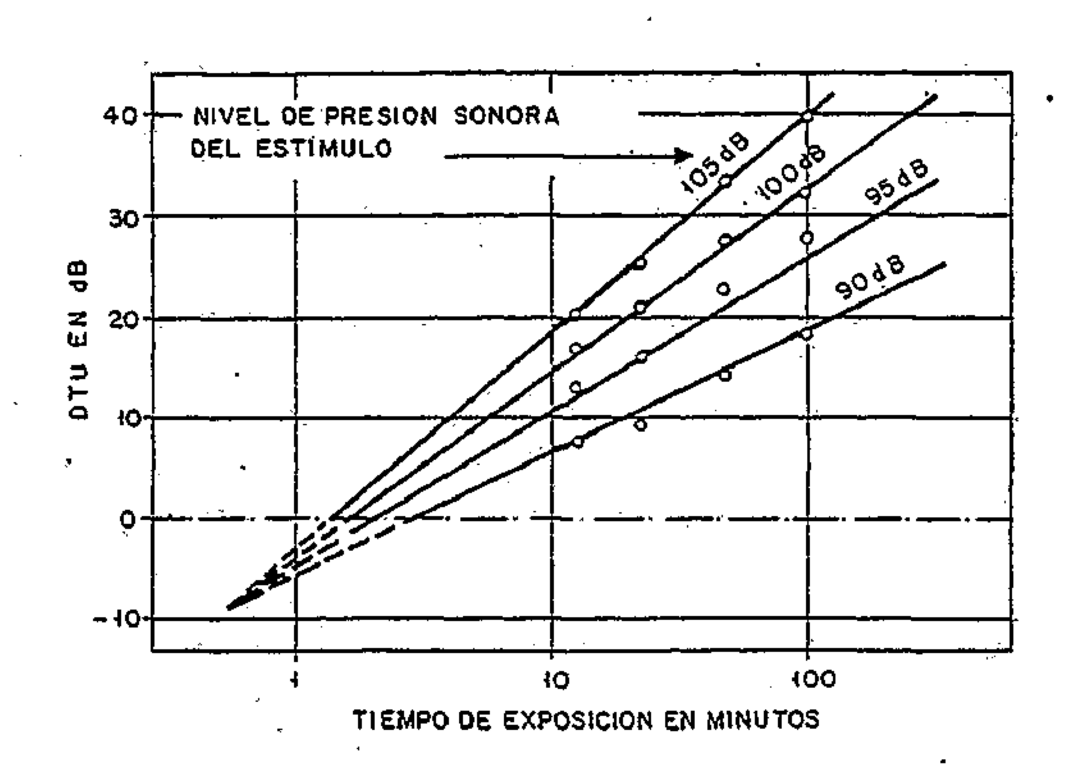


Fig. 6.3.4.- VARIACION DEL DTU A 4 KHz CON EL TIEMPO DE EXPOSICION

pierde. Al mismo tiempo, las voces femeninas, al ser de mayor frecuencia, son más difíciles de entender que las masculinas.

Los factores que determinan el DPU dependen, como en el caso de DTU, de la naturaleza del ruido (intensidad sonora y espectro), así como el tiempo de exposición. Evidentemente, la susceptibilidad del individuo para el ruido es un factor importante en el DPU.

Las características del DPU son:

- Siendo constantes la duración de la exposición, las características físicas del ruido y la distribución en el tiempo de llegada al oído, se producirá mayor DPU cuanto mayor sea el nivel de presión sonora.
- Para ruidos de banda estrecha o tonos puros, el DPU se manifiesta en una frecuencia media octava superior a la frecuencia de excitación.
- Para ruidos de banda ancha, el DPU se presenta primeramente en la región de los 4 KHz (zona más sensible del oído), extendiéndose después, si la exposición se prolonga, a frecuencias superiores e inferiores.
- La relación entre el tiempo de exposición y el DPU que se produce varía de unas frecuencias a otras. Así, para 3 y 4 KHz, el máximo deterioro se presenta en los primeros diez-quince años de exposición, y para frecuencias a 2 KHz, el aumento es, aproximadamente, proporcional al tiempo de exposición.
- Respecto los ruidos intermitentes, parece ser que el DPU que producen es función únicamente de la energía acústica total que recibe el sujeto, independientemente del espectro del ruido y de la variación temporal de la exposición.
- El oído es más tolerante para las bajas frecuencias que para las frecuencias medias y altas; consecuencia de lo cual el nivel sonoro en dB(A) es un índice adecuado para la predicción del posible riesgo de PAIR, si bien mayor exactitud se tendrá subiendo el espectro del ruido y las características del tiempo de exposición.

3.2.4. Ruidos de impacto e impulso. Trauma acústico

Se caracterizan los ruidos de impactos e impulsos por su corta duración y, consecuentemente, su rápido incremento del nivel de presión, y son producidos por el chóque de sólidos (caso de impactos) o por la expansión brusca de gases (caso de impulsos), como son las explosiones, cañonazos, etc.

Los parámetros que definen un impulso son su presión máxima o presión pico, su duración, el tiempo de crecimiento, el contenido espectral y el número de repeticiones.

La exposición a este tipo de ruido, bien sea una serie de ellos o simplemente uno sólo causará una elevación del umbral de audición, que podrá ser DTU o DPU.

La presencia de un ruido de fondo continuo, no peligroso, sobre el que se intercalan impulsos, disminuye el DTU que producirían estos últimos si actuasen solos. Análogamente, la introducción de impulsos no peligrosos en un ambiente ruidoso peligroso hará disminuir el DTU causado por este último.

Para ruidos de este tipo parece ser que la causa del DPU es la energía total contenida en el impacto o impulso, más que la variación temporal de éste, su frecuencia de repetición, etc.

3.3. INTERFERENCIA CON LA COMUNICACION HABLADA

La conversación normal presenta variaciones apreciables de nivel, con un valor medio de 65 dB a distancia de un metro y oscilación de 20 dB. El rango de frecuencias importantes para la percepción de la palabra está comprendido entre 200 y 6.000 Hz (Fig.6.3.5). En términos generales, se puede decir que las frecuencias importantes para las vocales son las inferiores a 1.500 Hz, y para las consonantes, las superiores a esta frecuencia.

Es evidente que la comunicación hablada constituye una parte importante de la actividad humana y que cualquier agente que disminuya la capacidad de comunicación entre individuos será considerado como nocivo psicosociológicamente.

La perfecta inteligibilidad de las palabras dichas por una persona o emitidas por aparatos de radio o TV será sólo posible si la señal que le llega al oyente no está excesivamente deformada y tiene un nivel suficiente con respecto al ruido de fondo.

El efecto del ruido de fondo es el de elevar el umbral de audición, ejerciendo, consecuentemente, un enmascaramiento de los sonidos deseados, que son desfigurados y deformados. Para compensar este efecto debe elevarse el nivel de la voz, con el consiguiente esfuerzo, molestia y cansancia, o aproximarse los interlocutores.

Los ruidos continuos producen una mayor interferencia que los ruidos discontinuos, pues en este último caso, aunque algunas de las sílabas o palabras de una conversación queden deformadas o incluso totalmente enmascaradas, el sentido global de la frase se puede completar por otras expresiones, por el gesto, lectura de labios, etc.

Un método para la evaluación de la interferencia del ruido con la palabra se basa en la utilización del Nivel de Interferencia de la Palabra, SIL (Speech Interference Level). Considerando la región de frecuencias donde está comprendida la mayor parte de la energía de la palabra, el SIL es la media aritmetica de los niveles de presión sonora del ruido correspondientes a las bandas de octava centradas en 500, 1.000 y 2.000 Hz; esto es:

$$SIL = 1/3 (SPL_{500} + SPL_{1000} + SPL_{2000})$$

donde SPL es el nivel de presión sonora del ruido en cada una de las bandas de frecuencia consideradas.

Los valores así obtenidos pueden compararse con la tabla 6.3.1 que muestra los niveles de ruido que permiten una conversación aceptable en función de la distancia y niveles de voz.

La interferencia del ruido de fondo en la conversación puede conocerse usando el concepto de porcentaje de inteligibilidad, definido como la relación, en una conversación normal, entre las palabras entendidas y aquellas que no lo han sido. Se ha podido establecer la curva de la Figura (6.3.6) que muestra el porcentaje de inteligibilidad en función del nivel sonoro del ruido de fondo para espacios cerrados típicos con, aproximadamente, una absorción acústica de 300 sabines.

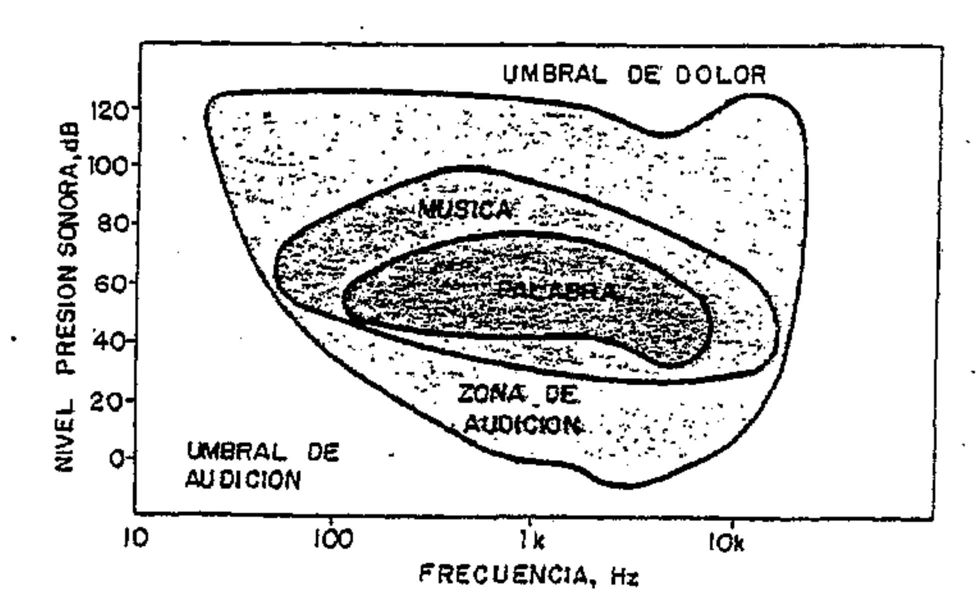
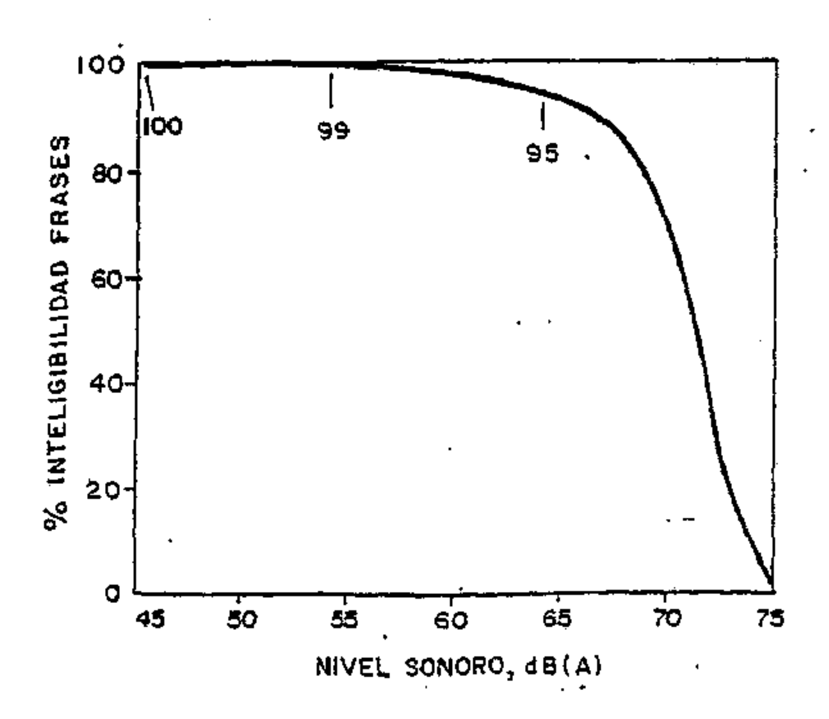


Figura 6.3.5. AREAS DE AUDICION



NOTA: SE SUPONE UNA HABITACION TIPICA CON 300 SABINES DE ABSORCION Y DISTANCIAS ENTRE INTERLOCUTORES SUPERIORES A 1 m.

Fig. 6.3.6. PORCENTAJE DE INTELIGIBILIDAD EN INTERIORES EN FUNCION DEL NIVEL DE RUIDO DE FONDO

TABLA 6.3.1.

CLASIFICACION DE LA PERDIDA AUDITIVA

CLASE	GRADO	PERDIDA MEDIA 500,1000 y 2000 Hz EN DECIBELES EN EL OIDO MEJOR	OBSERVACIONES
I	Normal	Menos de 15 dB	Dentro de límites normales.
II	Casi normal	15-25 dB	Sin dificultad para la conversación ordinaria a distancias hasta de 6 m.
III	Pérdida ligera	25-40 dB	Dificultad para la conversación ordinaria cuando la distancia excede de 1,5 m.
IV	Pérdida moderada	40-65 dB	Dificultad para la conversación en voz alta cuando la distancia excede de 1,5 m.
V	Pérdida grave	65-75 dB	Dificultad para entender lo que se dice a gritos cuando la distancia excede de 1,5 m.
VI	Pérdida muy grave	75-85 dB	Dificultad para entender lo que se dice a gritos a menos de 1,5 m.
VII	Pérdida prácticamente total	Más de 85 dB	Pérdida prácticamente total de la audición para la comunicación oral

TABLA 6.3.2.

NIVELES DE INTERFERENCIA DE LA PALABRA EN FUNCION DE LA DISTANCIA

DISTANCIA ENTRE INTERLOCUTORES	NIVELES DE INTERFERENCIA CON LA PALABRA (dB)			
m	NORMAL	VOZ ALTA	VOZ MUY ALTA	GRITANDO
0,15	76	82	88	94
0,3	70	76	82	88
0,6	64	70	76	82
0,9	60	66	72	78
1,2	58	64	70	76
1,5	56	62	68	74
1,8	54	60	66	72
3,6	48	54	60	66

3.4. INTERFERENCIA CON EL DESCANSO Y EL SUEÑO

El ruido puede afectar el descanso de un individuo impidiéndole dormirse, alterando su sueño o bien -- despertándolo.

Es evidente que el hombre necesita dormir y descansar por motivos de salud y que modificaciones prolongadas en sus hábitos de descanso repercutirán en ella. No obstante, hay que considerar el gran poder de adaptación del hombre al medio que le rodea, pudiéndose acostumbrar a dormir bajo niveles sonoros que le impidieron hacerlo en un principio, e incluso es posible que la ausencia del ruido habitual sea - causa de no poder conciliar el sueño.

Evidentemente, ni todos los individuos se despiertan bajo el mismo nivel de ruido ni aun un mismo individuo lo hace al mismo nivel, dependiendo del estado de profundidad del sueño en que se encuentra, en estado psíquico.

Aceptando la idiosincrasia individual, existirá un límite de intensidad sonora compatible con el dormir adecuado para la mayor parte de las personas integrantes de la comunidad. Este valor límite está definido en 35-40 dB (A).

Además del nivel de ruido, existen otros aspectos de éste que intermienen en el mecanismo de interferencia en el sueño, como son el contenido informativo del ruido y las intermitencias de éste.

Los sonidos que tienen un significado especial para el durmiente pueden despertarle a niveles no excesivamente elevados; tal es el caso del lloro de un niño a su madre o la pronunciación del nombre propio de la persona dormida. Por el contrario, aquellos sonidos familiares y sobre los que no se puede ejercer acción alguna no interfieren en el sueño; por ejemplo, el ruido de las instalaciones de aire acondicionado

Los sonidos que se presentan de forma intermitente o distribuidos irregularmente durante el periodo de descanso afectan de manera especial; éste es el caso del ruido producido por aeronaves, trenes, etc.

Los efectos en el hombre debidos a la perturbación del sueño por ruido son cansancio, irritabilidad, deseos de domir, etc. No se tiene evidencia de que estos efectos puedan ser perjudiciales para el hombre, tanto en su salud física como mental; sin embargo, sí que influyen en su comportamiento, creando, en general, un resentimiento contra la fuente sonora molesta.

3.5. EFECTOS SOBRE EL TRABAJO

El conocimiento y evaluación de los efectos del ruido en las actividades laborales o profesionales es - un complejo de realizar por la gran cantidad de variables que intervienen y los enmascaran

Es difícil demostrar que el ruido produzca efectos prolongados sobre el rendimiento y eficacia en el trabajo; sin embargo, hay que suponer que ejerce cierta influencia, ya que puede ser causa de molestia, accidentes, dificultades de comunicación, distracciones, etc. Por otra parte, la capacidad de adaptación del hombre tiende a suprimir todo efecto permanente, si bien es posible que al principio sufra una merma en el rendimiento mental y muscular, pero éste se recupera rápidamente.

Los estudios realizados, tanto en el laboratorio como in situ, presentan resultados muchas veces contradictorios. En particular, aquellos en los que se cuente con la participación de los trabajadores se ven enmascarados por la actitud de éstos al sentirse observados.

Parece ser que la interferencia varía de unos sujetos a otros, dependiendo de la actitud del individuo, naturaleza del ruido, cantidad de información que éste contenga, estado físico, etc. No todos los tipos de trabajo serán igualmente perturbados; así, aquellos que requieran mayor concentración -por ejemplo, los trabajos mentales- serán más afectados que aquellos meramente sencillos o rutinarios.

3.6. MOLESTIA

De los efectos del ruido en el hombre, el más extendido es la molestia, entendida ésta como una sensación de desagrado o una actitud adversa contra un determinado factor ambiental, del cual el ser humano sabe o cree que puede afectar negativamente su salud ó bienestar.

Siendo la molestia un efecto subjetivo, dependerá tanto de las características físicas del ruido como del estado de ánimo, edad, sensibilidad, nivel cultural del individuo, familiaridad con la fuente, etc.

En general, puede establecerse:

- La molestia aumenta con la intensidad del ruido, así como con la sensibilidad del individuo.
- Las personas introvertidas son más fácilmente molestadas que las extrovertidas.
- Son más molestas las altas frecuencias que las bajas y medias.
- La repetición de un sonido es más irritante a ritmo lento que a ritmo rápido.
- La familiaridad con la fuente sonora tiende a disminuir la molestia.
- La molestia es mayor en el hogar que fuera de él.
- Los ruidos con contenido tonal o de impulsos son más molestos que los ruidos continuos.

No hay métodos directos para la medida de la molestia: sin embargo, pueden obtenerse indicaciones a través de encuestas que muestren la actitud de los individuos. Consecuentemente, será la molestia la magnitud que mida la reacción de la comunidad frente al ruido.

Las encuestas realizadas muestran que, en general, es el ruido de los sistemas de transporte la principal fuente de molestia, tanto en el interior de las viviendas como en el exterior, destacándose, principalmente, el ruido producido por el tráfico rodado, con áreas de influencia mucho mayores que las zonas de influencia del ruido de aeronaves y ferrocarriles. En el trabajo será el ruido producido por la propia actividad la fuente de molestia dominante, y que también podrá serlo para aquellas viviendas que se encuentre cerca de las industrias ruidosas. Otras fuentes de molestia serán los ruidos producidos por la propia comunidad.

3.7. EFECTOS DIRECTOS SOBRE LA SALUD

La Organización Mundial de la Salud define la salud como "un estado de completo bienestar físico, mental y social y no meramente una ausencia de una enfermedad y dolencia". Según esto, los aspectos anteriormente descritos entran en la definición como falta de salud; sin embargo, de forma más simple, puede entenderse como efectos del ruido en la salud como aquellos que afectan los aspectos físicos y mentales del individuo.

Respecto a la salud física, el efecto del ruido es semejante a los asociados con el miedo y la tensión; así, existe aumento en el número de pulsaciones, modificación del ritmo respiratorio, de la presión arterial, de la tensión muscular, de la resistencia de la piel, de la agudeza de visión, de la vasoconstricción periférica, etc. Todos estos efectos desaparecen un cierto tiempo después de cesar la exposición al ruido.

Los efectos del ruido en la salud mental de los individuos expuestos a él se centra en la posibilidad de presentarse síntomas de nerviosismo o trastornos mentales. No existe hasta el momento clara evidencia de que el ruido pueda afectar de forma directa la salud mental de los sujetos sometidos a él; sin embargo, parece existir mayor posibilidad de enfermedades mentales en la población expuesta al ruido de aeronaves en las proximidades de los aeropuertos.

3.8. RESPUESTA DE LA COMUNIDAD AL RUIDO AMBIENTAL

Para saber la respuesta de la comunidad al ruido ambiental deberán conocerse las reacciones que éste origina en individuos o en grupos. Esto se estudia mediante:

- La actitud tomada frente al ruido, manifestada en quejas, demandas, pleitos, etc.
- La respuesta a encuestas, cuestionarios, etc.

En ambos casos será la molestia la magnitud que medirá la respuesta comunitaria.

Se ha podido establecer que la respuesta de la comunidad es función de diversos factores: unos son función de las características físicas de la fuente, otros son función de la propia comunidad.

Las características de la fuente sonora son: el nivel sonoro, la distribución de la energía acústica en las distintas frecuencias, la presencia de tonos puros fácilmente detectables, los sonidos con frecuencias discretas, los picos de sobrepresión en los ruidos de impactos e impulsos, el tiempo de operación (por ejemplo, si es de día o de noche), las fluctuaciones o cambios rápidos de nivel de ruido, etc.

Entre los factores propios de la comunidad pueden citarse: el nivel social y económico de sus componentes, la educación, el interés o conocimiento de la fuente sonora, complacencia en la zona y tiempo de permanencia en ella, la experiencia previa de la comunidad a una exposición análoga al ruido problema, la facilidad de visión e identificación de las fuentes sonoras, los ruidos que contengan información desagradable, la depreciación de un área por la instalación de una fuente sonora, etc.

4.1 INTRODUCCION

La problemática del ruido puede contemplarse bajo dos vertientes perfectamente determinados y definidos:

- Niveles sonoros en los puestos de trabajo y los riesgos de pérdida de la audición que pueden originar.
- Niveles sonoros ambientales y las molestias que originan.

Ambos aspectos han merecido la atención de diversos organismos internacionales estableciendose consecuentemente criterios y normas al respecto.

Los principales criterios o normas referentes al ruido en los ambientes laborales son:

- NORMA ISO R 1999

Esta recomendación está basada en la teoría de igual energía, según la cual el trauma sonoro depende únicamente de la energía sonora recibida por el individuo, independiente de su distribución en el tiempo.

Fue publicada en 1971 y expresa el riesgo en función de la energía recibida medida en términos de nivel de presión y tiempo de exposición. Esta norma ha sido adoptada por diversos países europeos.

- CRITERIO DE LA A.C.G.I.H.

Este criterio se basa en el tiempo de recuperación de la audición normal cuando ha existido una pérdida temporal de ella. Según esta teoría la pérdida permanente de la capacidad auditiva depende la pérdida temporal, es decir de la energía recibida y de su distribucíon en el tiempo.

Esta norma ha sido adoptada por el gobierno de los Estados Unidos y supone que el ruido de origen industrial no es contínuo, sino que existe un número de interrupciones, adoptándose una media de 6 de estas al día. Este criterio se conoce con nombre de T.L.V.

La problemática del ruido ambiental se recoge en la norma ISO R/1996, la cual fija los niveles sonoros de emisión permitidos para las instalaciones industriales.

Todas estas normas se exponen a continuación junto con los criterios existentes en la actualidad referentes al ruido de impactos.

Finalmente se incluye la normativa española en materia de ruido tanto en los puestos de trabajo y que esta contenida en la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, como en el medio ambiente y que esta contemplada en diversas Ordenanzas Municipales.

4.2 NORMA ISO 1999: EVALUACION DE LA EXPOSICION LABORAL AL RUIDO PARA LA CONSERVACION DE LA CAPACIDAD AUDITIVA

La presente Recomendación ISO da una relación práctica entre la exposición al ruido, expresada en -

términos de nivel de presión acústica y tiempo de exposición, y el porcentaje de personas que probablemente experimentarán una disminuación de su capacidad auditiva como consecuencia de su exposición laboral al ruido.

La disminución de la capacidad auditiva puede expresarse en muchos casos, como función del incremento en los umbrales de audición a ciertas frecuencias. En la mayor parte de los casos, sin embargo, no se puede disponer de la historia audiométrica previa por lo que es preciso establecer criterios expresados únicamente en función de los umbrales de audición. Para la capacidad de comprender la palabra hablada es posible fijar limites de los umbrales de audición a las frecuencias importantes para la inteligibilidad de la palabra.

En la presente Recomendación ISO los datos y recomendaciones están basados fundamentalmente en el criterio de que la capacidad auditiva debe considerarse disminuida si la media aritmética de los umbrales de audición para las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz es 25 dB o más.

Se considera que para ciertos fines, puede ser necesario ampliar la gama de frecuencias cuyos umbrales de audición se promedian y variar el criterio adoptado para el valor de la media.

La forma en la que la exposición al ruido se relaciona con la disminución de la capacidad auditiva en la presente Recomendación ISO es a través del concepto de "riesgo", definido más adelante, y que es una expresión de la probabilidad de que las personas expuestas sufran una disminuación determinada de su capacidad auditiva.

La medida del nivel y duración de los ruidos da lugar a un indice aditivo asignado a cada ruido. La suma de dichos índices se convierte en un nivel de ruido contínuo que se considera igualmente peligroso para el oido. Se suministra una tabla donde se indica el procentaje de trabajadores que sufrirán disminución de su capacidad auditiva de acuerdo con el criterio anterormente enunciado como consecuencia de su exposición laboral al ruido durante períodos de hasta 45 años y teniendo en cuenta el efecto de la edad. En consecuencia, la presente Recomendación ISO proporciona una base para el establecimiento de límites tolerables de exposición al ruido.

Debe observarse que si a fin de mantener la exposición por debajo de límites prefijados, es necesario reducir los niveles de ruido, pueden ser necesarios mediciones más complejas que las expresadas en la parte principal de esta Recomendación.

4.2.1 Objetivo

La presente Recomendación ISO da una relación práctica entre la exposición laboral al ruido, expresada en términos del nivel de presión acústica en dB ponderados con la escala A (usualmente llamado dB(A)) y de la duración de una semana laboral normal (supuesta de 40 horas), y el porcentaje de trabajadores que mostrarán un incremento medio del umbral de audición a 500, 1000 y 2000 Hz de 25 dB como consecuencia de su exposición al ruido.

Esta recomendación no es aplicable a ruidos de impulso aislados de duración inferior al segundo, como por ejemplo un disparo.

4.2.2 Definiciones:

Indice parcial de exposición al ruido: Un índice determinado por un nivel de presión acústica y su duración en una semana laboral (40 horas).

Indice compuesto de exposición al ruido: La suma de los índices parciales correspondientes a los distintos niveles sonoros percibidos durante una semana laboral (40 horas).

Nivel de ruido continuo equivalente: Aquel nivel de ruido en dB(A) que, si se hallara presente durante 40 horas por semana, produciría el mismo índice compuesto que los distintos niveles realmente medidos.

Disminución de la capacidad auditiva para la palabra hablada: La capacidad auditiva de un individuo se considera disminuida si la media aritmética de los umbrales de la audición del sujeto a 500, 1000 y 2000 Hz es superior en 25 dB a más a los señalados en la Recomendación ISO R 389. "Valor cero de referencia para la calibración de audiómetros de tono puro".

Riesgo: Diferencia entre el porcentaje de personas con la capacidad auditiva disminuida en un grupo expuesto a ruido y el porcentaje de personas con la capacidad auditiva disminuida en un grupo no expuesto (pero equivalente en todos los demás aspectos al primero).

Riesgo de disminución de la capacidad auditiva para la palabra hablada: Valor particular del riesgo cuando se refiere a la disminución de la capacidad auditiva definida tal como se establece en 2.4.

4.2.3 Mediciones del Ruido

Se determinará el nivel de presión acústica en dB(A) en la posición aproximadamente ocupada por el oído del operario (pero preferiblemente con él ausente).

Si el periódo medio de ruido durante un periódo de tiempo corto (algunos segundos o minutos) es casi invariables a lo largo de la semana o varía de forma regular entre unos pocos niveles claramente diferenciales, las mediciones pueden efectuarse con un sonómetro en escala "A" y empleamos la respuesta "slow".

El sonómetro debe cumplir con la norma IBC 123 "Recomendaciones para medidores a nivel de ruido", o la IBC 179 "Sonómetros de precisión".

En otros casos, deberá efectuarse un análisis estadístico del ruido durante un periódo de tiempo representativo con un equipo registrados automático que de una respuesta equivalente a la del sonómetro.

En cualquier de ambos casos, los niveles de ruido deberán agruparse en clases de 5 dB de anchura. Se anotará el nivel y la duración semanal total para cada clase.

Los ruidos cuyo nivel de presión acústica sea inferior a 80 dB(A), a menos que sea preciso efectuar la corrección que se cita en el apartado 5 de esta recomendación, pueden despreciarse. Si la corrección es necesaria, la presente regla se aplica al valor corregido.

4.2.4 Cálculo del Nivel de ruido contínuo equivalente para ruidos intermitentes o fluctuantes.

Paso 1: Selecciónes en la primera columna de la Tabla 6.4.1 el correspondiente valor a la duración semanal de cada ruido, en la intersección con la columna correspondiente al nivel de ruido considerado se lee el valor del índice parcial de exposición.

Paso 2: La suma de los índices parciales da el índice compuesto de exposición al ruido.

Paso 3: Con el valor obtenido en la Tabla 6.4.2 se leerá el nivel equivalente de ruido contínuo.

4.2.5 Cálculo del Nivel de Ruido Contínuo equivalente para ruidos de Impacto casi-estables.

El método descrito en la presente Recomendación ISO no es aplicable a ruidos de impacto aislados de una duración inferior a 1 segundo, por ejemplo un disparo.

Sin embargo, para ruidos de impacto consistentes en series de impulsos de aproximadamente igual intensidad (por ejemplo el ruido de un martilleo rápido y repetitivo) puede efectuarse una aproximación al índice parcial de exposición al ruido atribuyendo un nivel de presión sonora 10 dB(A) superior al medido con el Sonómetro.

Aunque será deseable una dición más precisa de los casos en que debería aplicarse una corrección, el problema no puede ser resuelto hasta que nuevos datos sean aportados por las investigaciones en marcha.

4.2.6 Cálculo del Riesgo

La Tabla 6.4.3. muestra en la línea superior (a) de cada entrada, el riesgo de disminución de la capacidad auditiva para la palabra hablada (tal como se definió en 2.6) como una función del nivel de ruido continuo equivalente y de los años de exposición, en el supuesto de 40 horas de trabajo por semana y 50 semanas al año.

En la línea inferior (b) de cada entrada, se indica también el porcentaje total de personas con disminución de la capacidad auditiva en un grupo no expuesto a ruido.

A título informátivo se incluye el caso en que lea 80dB(A), la línea inferior (b) es el porcentaje de personas con disminución de la capacidad auditiva en un grupo no expuesto al ruido. Este valor es igual a la diferencia entre los valores de las correspondientes líneas (a) y (b) para cualquier grupo expuesto a ruido. Los porcentajes han sido redondeados al valor entero más próximo.

NOTAS :

1. Los límites para las exposiciones tolerables al ruido durante el trabajo pueden ser establecidos por las autoridades competentes quienes generalmente exigen el establecimiento de programas para la conservación del oido si dichos límites son superados. En muchos casos se han elegido valores entre 85 dB(A) y 90 dB(A) de nivel equivalente (Tabla 6.4.4.).

2. Otras tablas de riesgo pueden ser construidas por las autoridades competentes utilizando definiciones distintas a la dada en 2.6 a medida que se disponga de nuevos datos experimentales.

Tabla 6.4.1. Indices parciales de exposición al ruido para niveles de presión acústica entre 80 y 120 dB(A) y duraciones de 10 minutos a 40 horas por semana.

Duración semanal		Indices parciales de exposición al ruido								
		Nivel de presión sonora en dB(A) (Punto medio de la clase)								
horas	minutos	80	85	90	95	100	105	110	115	120
	10					5	15	40	100	415
	12					5	15	50	180	500
	14					5	20	60	186	585
	16					5	20	65	210	665
	18					10	25	75	233	750
	20					10	25	85	285	835
	25				5	10	35	105	330	1.040
	30				5	15	40	125	395	1.250
	40				5	15	55	165	535	1.670
	50				5	20	70	210	660	2.080
	60			5	10	25	80	250	700	2.500
	70			5	10	30	90	290	910	2.620
	80			5	10	35	105	330	1.050	3.330
	90			5	10	40	120	375	1.130	3.750
	100			5	15	40	130	415	1.320	4.170
2				5	15	50	160	500	1.530	6.000
2.3				5	20	65	200	625	1.986	6.250
3				10	25	75	236	750	2.370	7.500
3.5			5	10	30	90	275	875	2.770	8.750
4			5	10	30	100	315	1.000	3.160	10.000
5			5	15	40	125	395	1.250	3.960	12.500
6			5	15	45	160	475	1.500	4.740	15.000
7			5	20	55	175	555	1.750	5.500	17.500
8			5	20	65	200	630	2.000	6.320	20.000
9			5	25	70	225	710	2.250	7.110	22.500
10		5	10	25	80	250	790	2.500	7.910	25.000
12		5	10	30	95	300	950	3.000	9.490	30.000
14		5	10	35	110	350	1.110	3.500	11.100	
16		5	15	40	125	400	1.260	4.000	12.000	
18		5	15	45	140	450	1.420	4.500	14.200	
20		5	15	50	160	500	1.580	5.000	15.800	
25		5	20	65	200	625	1.930	6.250	19.800	
30		10	25	75	235	760	2.370	7.500	23.700	
35		10	30	90	275	875	2.770	8.750	27.700	
40		10	30	100	315	1.000	3.160	10.000	31.600	

TABLA 6.4.2.Relación entre el índice compuesto de exposición al ruido el nivel equivalente de ruido continuo.

Indice compuesto de exposición	Nivel equivalente de ruido contínuo dB(A)
10	80
15	82
20	83
25	84
30	85
40	86
50	87
60	88
80	89
100	90
125	91
160	92
200	93
260	94
315	95
400	96
500	97
630	98
800	99
1.000	100
1.250	101
1.600	102
2.000	103
2.500	104
3.160	105
4.000	106
5.000	107
6.300	108
8.000	109
10.000	110
12.500	111
16.000	112
20.000	113
25.000	114
31.500	115

TABLA 6.4.3.

(1) Relación entre el nivel equivalente de ruido contínuo durante el trabajo para exposiciones entre 0 y 45 años y el riesgo de disminución de la capacidad auditiva para la palabra hablada.

(2) Porcentaje total de personas que sufren disminución de la capacidad auditiva para la palabra hablada en un grupo expuesto. (El porcentaje de personas que sufren disminución en un grupo no expuesto es igual al porcentaje en un grupo expuesto a niveles de ruido contínuo inferiores a 80 dB(A).).

Nivel equivalente de ruido contínuo dB(A)	Riesgo %, ó % total de personas con capacidad disminuida		Porcentajes — Años de exposición 0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
80	(a)	Riesgo, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	(b)	% total de dism.	1	2	3	5	7	10	14	21	33	50
85	(a)	Riesgo, %	0	1	3	5	6	7	8	9	10	7
	(b)	% total de dism.	1	3	6	10	13	17	22	30	43	57
90	(a)	Riesgo, %	0	4	10	14	16	16	18	20	21	15
	(b)	% total de dism.	1	6	13	19	23	26	32	41	54	65
96	(a)	Riesgo, %	0	7	17	24	28	29	31	32	29	23
	(b)	% total de dism.	1	9	20	29	35	39	45	58	62	73
100	(a)	Riesgo, %	0	12	29	37	42	43	44	44	41	33
	(b)	% total de dism.	1	14	32	42	49	53	58	65	74	83
105	(a)	Riesgo, %	0	18	42	53	58	60	62	61	54	41
	(b)	% total de dism.	1	20	45	58	65	70	76	32	87	91
110	(a)	Riesgo, %	0	26	55	71	78	78	77	72	62	45
	(b)	% total de dism.	1	28	58	76	85	88	91	93	95	96
115	(a)	Riesgo, %	0	30	71	83	87	84	81	75	64	47
	(b)	% total de dism.	1	38	74	83	94	94	95	96	97	97

TABLA 6.4.4. Criterio de Riesgo según ISO 1999

Nivel sonoro contínuo equivalente dB(A)	Tiempo de exposición (horas) (Período 40 horas semanales)
90	8
93	4
96	2
99	1
102	1/2
105	1/4
108	1/8

4.3 CRITERIO DE LA A.C.G.I.H.

T.L.V. del Ruido

Los presentes valores T.L.V. se refieren a los niveles de presión sonora y las duraciones de la exposición que se presentan las condiciones a las que se cree que casí todos los trabajadores pueden exponerse repetidamente sin efectos adversos en su capacidad de oir y comprender las conversaciones normales. La profesión médica ha definido el límite de la audición normal a un valor medio del umbral de audición a 500, 1000 y 2000 Hz de 25 decibelios y los límites porpuestos han sido establecidos para impedir una pérdida auditiva por encima de dicho valor. Los valores dados deben usarse como referencias para el control de las exposiciones al ruido y, debido a la susceptibilidad individual no deben considerarse como fronteras definidas entre los niveles seguros y los peligrosos.

Contínuo o intermitente

El nivel sonoro debe determinarse con un sonómetro que cumpla como mínimo la American National Standard Specification para Sonómetros, S.14 (1971) Tipo S.2A. utilizando el filtro "A" y la constante de tiempo "slow". La duración de la exposición no excederá lo indicado en la Tabla 6.4.5.

Estos valores se aplican a la duración total de la exposición por día de trabajo independientemente de que se trate de una sola exposición contínua o de un cierto número de exposiciones cortas pero no son adecuadas para ruidos de impacto.

Cuando la exposición diaría se compone de dos o más períodos de ruidos de distintos niveles, debe tenerse en cuenta su efecto combinado en lugar de efecto individual de cada uno. Si la suma de las siguientes fracciones supera la unidad,

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \ldots\ldots + \frac{C_n}{T_n}$$

la exposición global debe considerarse como superior al TLV. Ci es el tiempo total de permanencia a un determinado nivel sonoro y Ti indica el tiempo permitido a dicho nivel (Tabla 1).

TABLA 6.4.5

1972	Nivel sonoro dB(A)	1975
Duración diaria horas		Duración diaria horas
-	80	16
-	85	8
8	90	4
4	95	2
2	100	1
1	105	1/2
1/2	110	1/4
1/4	115	1/8
Las exposiciones a niveles inferiores a 90 dB(A) no se tendrán en cuenta para el cálculo en las exposiciones a varios niveles sonoros durante la jornada laboral.		Las exposiciones a niveles inferiores a 80 dB(A) no se tendrán en cuenta para el cálculo en las exposiciones a varios niveles sonoros durante la jornada laboral.

4.4 CRITERIO PARA RUIDO DE IMPULSOS

Ruidos de naturaleza discontinua pueden clasificarse como ruidos de impacto o ruidos de impulso. Ruido de impacto es el producido por el choque de sólidos o de masas, mientras que ruido de impulso es el producido por una repentina y rápida expansión de la presión de gases tales como un cañonazo, explosiones, explosiones sónicas, etc.

Ambos tipos de ruidos se caracterizan por su corta duración y debido a ese rápido aumento de presión, la instrumentación convencional no puede usarse para su medida. Una representación típica de la forma de la onda de impulso se muestra en la Figura 6.4.1. Los parámetros principales de un impulso son su presión máxima o presión de pico, su duración (A o B), el tiempo de crecimiento, el contenido espectral y desde un punto de vista del peligro de pérdida de audición, la frecuencia de repetición.

Muchos impulsos, especialmente aquellos que provienen de explosiones tienen tiempos de crecimiento prácticamente cero. La forma de onda viene siempre afectada por el ambiente en que se producen y especialmente aquellos altamente reverberante, la duración B aumenta.

Aunque el ruido de impactos ocurre a menudo en la industria, el primer criterio que se estableció fue dedicado al ruido de impulsos causados por las armas de fuego. Coles y Rice basándose en los estudios el primero sobre pérdidas de audición causadas por cañonazos de la marina inglesa establecieron un criterio basado en una repetición de entre 6 y 30 impulsos por minuto (la más peligrosa), y para un máximo número de impulsos de 100 por año. Este criterio está representado en la Fig. 6.4.2. para las dos duraciones A y B y está destinado a proteger el 75 por 100 de los individuos expuestos.

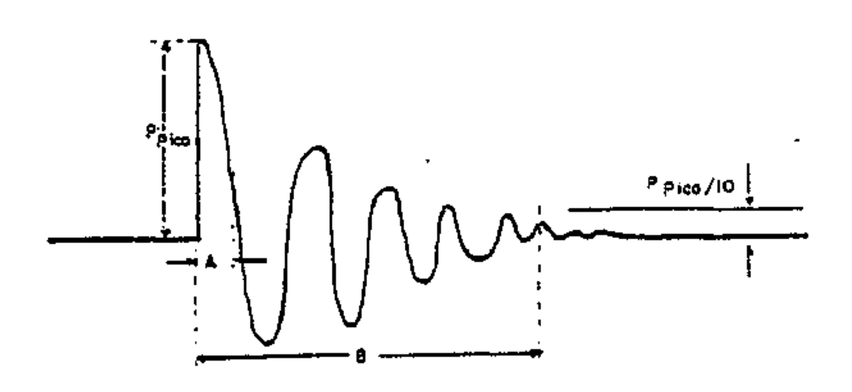


Figura 6.4.1. Forma típica de la onda de presión sonora de un impulso.

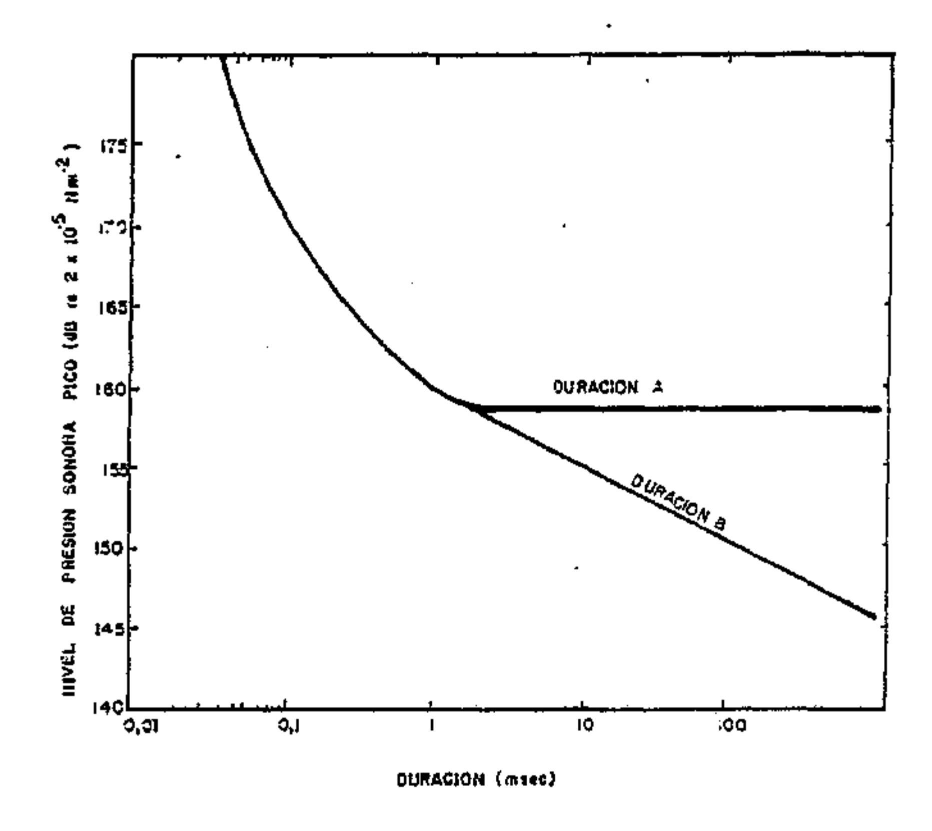


Figura 6.4.2. Criterio de riesgo de perdida de audición para ruido de armas segun la duración del impulso.

Este criterio anticipaba un máximo de 10 a 20 exposiciones por año y debería disminuirse en 5 dB para una incidencia normal del sonido. Igualmente y para el caso de que el criterio tratara de proteger a los individuos más susceptibles se deberían disminuir los límites en 10 dB.

La Asociación americana A.C.G.I.H. establecio un criterio (o T.L.V.) para el ruido de impactos en base a que los ruidos industriales tienen una duración de 30 m seg. y que la peligrosidad del impacto es su contenido energético. En dicho criterio se establece el número máximo de impactos permisibles por día en función del nivel pico. Estos niveles se presentan la Tabla 6.4.1y en la Figura 6.4.3

En 1970 Atherley y Martin aplicaron el concepto del principio de igual energía al ruido de impactos encontrado en la industria, obteniendo un método para el cálculo del Leq correspondiente y estableciendo el mismo límite que para el caso de ruido constante, es decir 90 dB(A). Consecuencia de este trabajo ha sido el reciente intento de Rice y Martin de modificar los criterios existentes para el ruido de impulsos proponiendo un método de cálculo del Leq similar al caso de impactos y unificando todos los criterios de pérdida de audición en el límite de 90 dB(A).

El cálculo del nivel sonoro continuo equivalente del ruido de impactos se basa en la clasificación de estos en tres grupos distintos, dependiendo de su frecuencia de repetición.

Grupo A. Frecuencias de repetición superiores a 600 impactos/minuto.

Los niveles sonoros en dB(A), pueden considerarse en este caso como quasicontinuos y por tanto se pueden seguir las normas dadas para ruido constante. En este grupo el nivel sonoro leído directamente del sonómetro equivalente al Leq, promediando a ojo las variaciones relativamente pequeñas de nivel.

Grupo B. Frecuencias de repetición entre 60 y 600 impactos/minuto.

En este grupo hay que distinguir dos casos:

1. Si el Nivel de presión sonora del impacto decae 10 dB o más por debajo del pico o existen muchas irregularidades en la curva de descenso del nivel, se determinará la abcisa "a", Figura 6.4.4 a partir de la forma de la onda observada en un osciloscopio. La abscisa a, se define como la diferencia en dB, entre el nivel pico L_p y el menor nivel alcanzado por el impacto L_f. Si se utiliza un osciloscopio se calibrará el retículo del mismo en Pascales y L_p y L_f en dB, se obtendrá a partir de:

$$L_p = 20 \log P_p \text{ (En Pascales)} + 94$$

$$L_f = 20 \log P_f \text{ (En Pascales)} + 94$$

Por otra parte, a se puede obtener directamente a partir de la lectura del osciloscopio, según:

$$a = 20 \log (L_p/L_f)$$

Finalmente el L_{eq} en dB(A) se obtiene utilizando la Figura 6.4.5 según

$$L_{eq} = L_p \text{ (dB)} + \beta$$

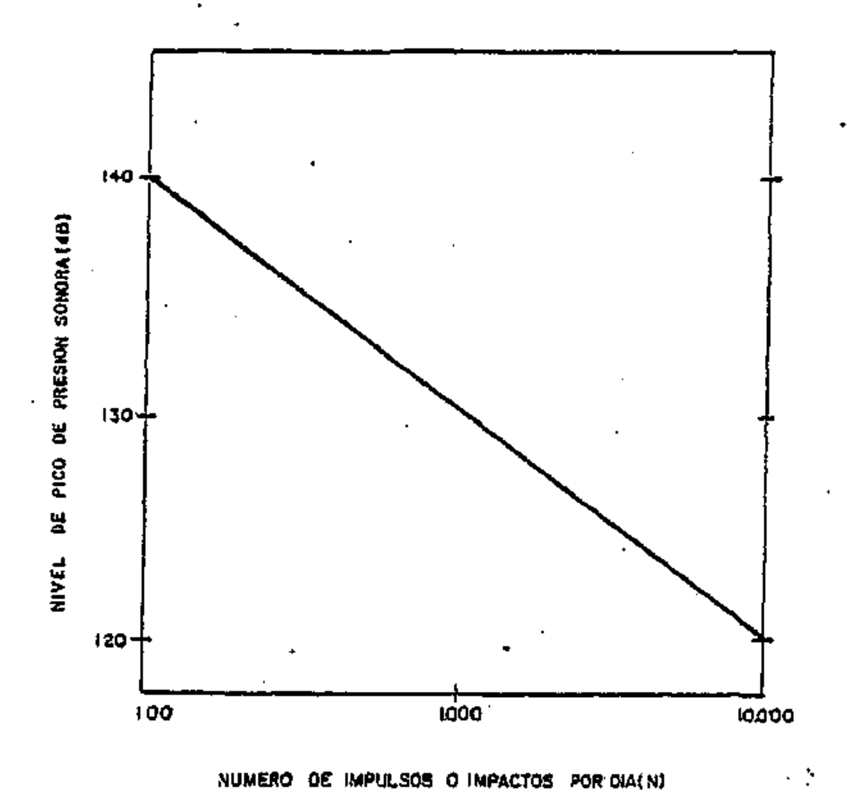


Figura 6.4.3 Criterio A. G. G. I. H. para ruido de impulsos

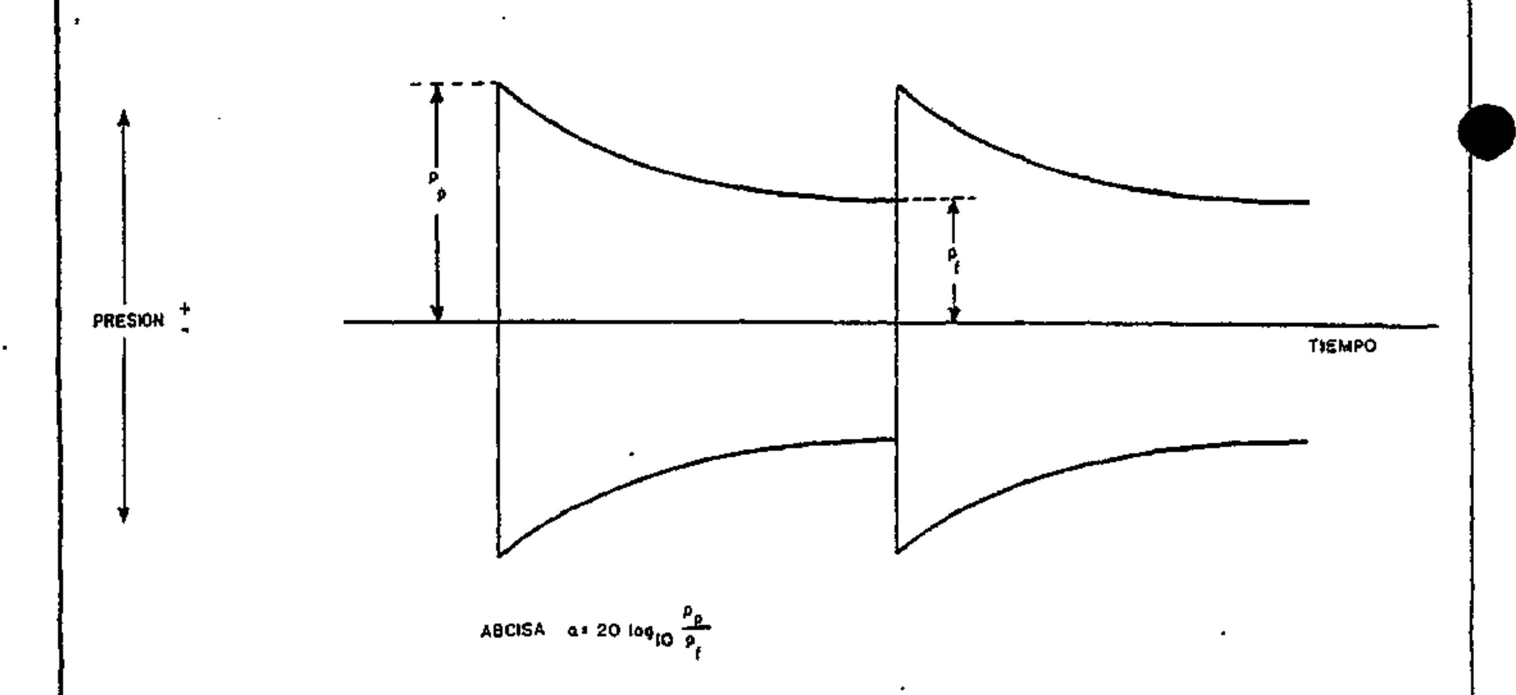


Figura 6.4.4 Forma típica de losenvolventes de ondas de presión sonora causadas por impactos.

Donde L_p(dB) es el valor correspondiente a P_p, en dB.

2. Si los impactos decaen hasta un nivel tal que a es superior a 20 dB, el ruido se incluirá en el Grupo C.

Grupo C. Frecuencias de repetición inferiores a 60 impactos/minuto.

En este caso y a partir de la onda registrada en el osciloscopio se medirán P_p y t_e, donde t_e es el tiempo, en segundos, que la presión sonora tarda en decaer hasta P_p/e, siendo e la base de los logaritmos neperainos (e = 2,7183). A partir del número total de impactos generados durante la jornada laboral, se calcula la duración total, D:

$$D = Nt_e$$

Para obtener el L_{eq} se utiliza la corrección γ dada en la Figura 6.4.6 de acuerdo con:

$$L_{eq} = L_p(dB) + \gamma$$

En el caso de impulsos, normalmente éstos se producen con frecuencias de repetición de este orden y el cálculo es similar aunque se sustituye la duración t_e por la duración B (figura 6.4.1.)

Es importante hacer notar en este apartado los errores que pueden cometerse al utilizar una instrumentación incorrecta para la medida de los impulsos. Puestos que el parámetro fundamental de un impulso es el máximo de presión sonora, y éste se alcanza muy rápidamente, es preciso tener un sistema detector y medidor que sea capaz de responder al estímulo. El uso de sonómetros, incluso de precisión, que no posean las características de medidor de impulsos (impulse hold) pueden inducir a errores que alcancen los 15 ó 20 dB. Es necesario, en caso de no poseer un instrumento de este tipo, el utilizar un osciloscopio, instrumento de respuesta casi instantánea, y a partir de él, obtener el nivel de sobrepresión de pico, previa calibración. Utilizando el osciloscopio se puede también obtener la duración del impulso, su tiempo de crecimiento, etc.

4.5 NORMA ISO 1996. EVALUACION DEL RUIDO CON RESPECTO A LA RESPUESTA DE LA COMUNIDAD.

La reducción o limitación de los niveles de ruido que causas molestia tiene una importancia creciente. Esta Recomendación ISO establece métodos de medida y evaluación del ruido en áreas residenciales e industriales considerando la interferencia que aquel produce con el descanso, la eficiencia en el trabajo, la actividades sociales y la tranquilidad.

Además del ruido existen otros factores relacionados con la generación y radiación del sonido (por ejemplo vibraciones) que pueden generar en condiciones particulares molestias; sin embargo no se consideran en esta norma por no existir en la actualidad especificaciones al respecto.

El método descrito en esta norma sirve para predecir aproximadamente la reacción pública generada por el ruido y puede ayudar a las autoridades a establecer límites de emisión.

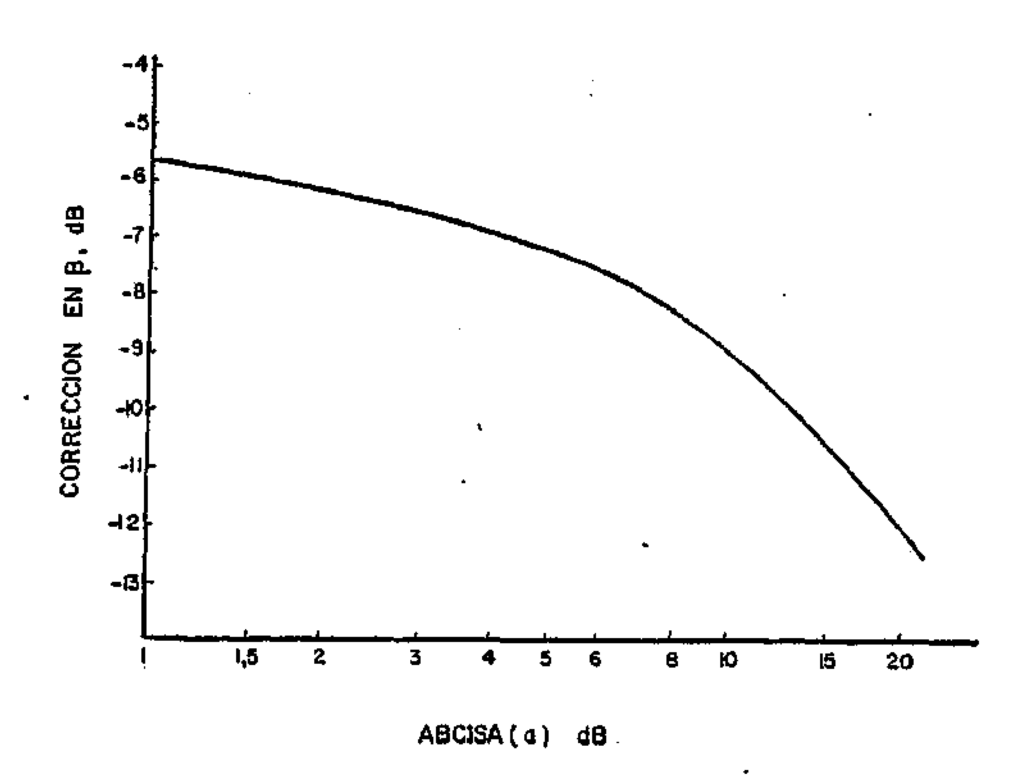


Figura: 6.4.5. Corrección β para el calculo del L_{ef} de ruido de impactos.

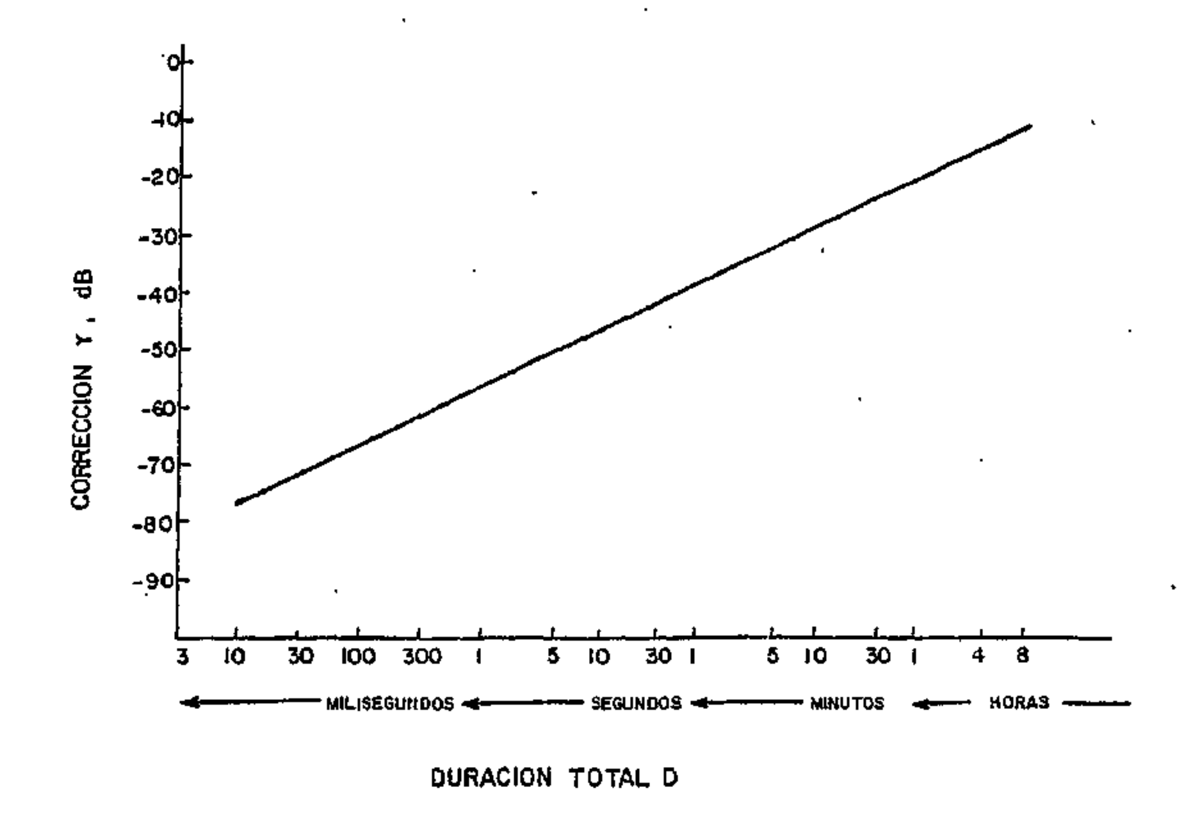


Figura: 6.4.6. Corrección γ para el calculo de L_{eq} de ruidos de impactos.

1. Objetivo

Esta norma ISO trata de establcer una guía para la medida de la aceptación del ruido en las comunidades. Establece un método de medida del ruido, las correcciones a realizar en los niveles medidos (de acuerdo con la duración, espectro y factor de pico) y compara los niveles corregidos con un criterio de ruido que tiene en consideración los diversos factores ambientales.

El método dado aquí para evaluar los ruidos y su interferencia con la comunidad constituye una base para que las autoridades competentes puedan fijar los niveles de ruido permisibles en las diversas situaciones.

Este método se basa en la medida del nivel sonoro en dB(A).

Para la realización de medida correctoras, es necesario el análisis en frecuencia, consecuentemente los resultados de las medidas pueden compararse con curvas de criterio de ruido, por ejemplo las curvas NR, a fin de determinar las frecuencias intrusivas. En el Apéndice A se presenta este método de análisis.

2. Medida del Nivel Sonoro

2.1. Equipo de medida

Se recomienda utilizar un sonómetro con red de ponderación "A" y respuesta rápida que cumpla las normas UNE 21314-1975 "Sonómetros de precisión" o UNE 21323-1975 "Propuestas relativas a los sonómetros".

Pueden usarse otros equipos de medida que incluyan, por ejemplo, registradores de nivel, de cinta magnética o equivalente, siempre que sus características sean compatibles con la de los sonómetros especificados anteriormente.

2.2 Condiciones de medida

Las condiciones de medida que se describen a continuación se refieren al lugar afectado por la molestia.

2.2.1 Medidas exteriores. Las medidas exteriores corresponden a las realizadas en el exterior de un edificio, vivienda o local, con objeto de determinar el nivel de ruido existente, procedente de actividades e instalaciones industriales.

Las medidas deberán realizarse entre 1,2 y 1,5 m sobre el suelo, y si es posible, a 3,5 m como mínimo de las paredes, edificios o cualquier otra superficie reflectante. Cuando la circunstancias lo requieran, las medidas podrán realizarse a mayores alturas y más cerca de las paredes (por ejemplo a 0,5 m frente a una ventana abierta), siempre que ello se especifique y se tenga en cuenta en la evaluación.

Deberá evitarse la influencia de señales sonoras perturbadoras, tales como el ruido del viento sobre el micrófono, ruido de interferencias eléctricas o magnéticas o ruido producido por fuentes ajenas a la actividad que se trata de controlar.

Cuando la fuente de ruido considerada se encuentre alejada de la posición de medida, el nivel sonoro dependerá significativamente de las condiciones climáticas. Deberán evitarse, por tanto, las condiciones climáticas extremas. Si es posible, se obtendrá un valor típico y una indicación del margen de variación.

2.2.2. Medidas interiores. Las medidas interiores corresponden a las realizadas en el interior de un edificio, vivienda o local, con objeto de determinar el nivel de ruido existente, procedente de actividades e instlaciones industriales.

Las medidas se realizarán por lo menos a 1 m de distancia de las paredes, a una altura sobre el suelo de 1,2 a 1,5 m y aproximadamente a 1,5 m de la(s) ventana(s). Para reducir el efecto de las perturbaciones debidas a las ondas estacionarias se efectuarán, al menos, tres lecturas del nivel sonoro en posiciones que estén a una distancia de ± 0,5 m de la posición inicial. La media arítmetica de las lecturas determina el valor de la medida.

Las medidas se realizarán, normalmente, con las ventanas cerradas, pero si generalmente el local se utiliza con las ventanas abiertas, deberán efectuarse las medidas bajo tales condiciones.

3. Determinación del nivel sonoro equivalente de respuesta comunitaria. L_r

En muchos casos es necesario corregir el nivel sonoro medido, L_A, para estimar mejor las quejas de la comunidad urbana afectada por el ruido. Estas correcciones dependen de características del ruido, tales como el factor de pico, espectro, duración y fluctuación. La suma de L_A y las posibles correcciones, determinan el nivel sonoro equivalente de respuesta comunitaria, L_r; es decir, el nivel sonoro continuo, sin carácter impulsivo y sin tonos puros que se supone porducirá la misma respuesta de la comunidad que el ruído medido.

3.1 Procedimiento de cálculo.

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

3.1.1 Para un ruído de nivel constante, sin carácter impulsivo y sin tonos audibles, L_r, será equivalente al nivel sonoro L_A, en dB(A), medido con el sonómetro en respuesta rápida.

3.1.2 Si el ruido es constante, pero con carácter impulsivo (tal como martilleo o remachado) o contiene impulsos de ruido discretos, L_r se evalua por el nivel sonoro L_A, en dB(A), más las correcciones dadas en la Tabla I.

La lectura a considerar será el va or medio de las deflexiones máximas de la aguja del sonómetro en respuesta rápida.

NOTAS:

- Pueden usarse otros procedimientos de medida y evaluación de ruídos impulsivos, tales como los establecidos en la norma BQ-M3.11 "Dosis de ruído en condicones normales de trabajo. Niveles permisibles".
- Si el nivel sonoro varía en un gran intervalo, deberá usarse el procedimiento descrito en 3.1.5.

3.1.3 Si el ruído es constante y contiene componentes de tonos audibles (por ejemplo, silbidos, chirridos o zumbidos) se evalúa por el nivel sonoro L_A, en dB(A) en respuesta rápida, más las correcciones dadas en la Tabla 6.4.6

3.1.3 Si el ruído es interrumpido por pausas (por ejemplo, el ruído constante emitido por una fábrica durante un cierto número de horas, seguido de una pausa), debe aplicarse una corrección al nivel sonoro L_A, mediado en dB(A), respuesta rápida, según la tabla 6.4.6 con objeto de tener en cuenta la reducción por duración del ruído.

Dicha duración se calculará sobre un período de tiempo significativo, que debe ser establecido por especificaciones de las autoridades competentes: por ejemplo las 8 h consecutivas más desfavorables durante el día y la 1/2 h más desfavorable durante la noche. Para ruidos durante la noche puede ser ventajoso establecer un límite absoluto para el nivel sonoro.

NOTAS:

1. Los períodos de tiempo "día", "tarde" y "noche" varían para las diferentes localidades y deben ser definidos por las autoridades, de acuerdo con las exigencias locales y la variación del ruido de tráfico.
2. Al especificar un período más corto o un límite absoluto durante la tarde y noche, se da mayor importancia a la influencia de ruidos con altos niveles y corta duración, que pueden ser perturbadores del sueño.
3. Si una fuente de ruido ha de considerarse en particular durante los fines de semana, y/o días festivos, las medidas deben de tener en cuenta tales circunstancias; por ejemplo, midiendo el ruido de fondo en el período de tiempo significativo.

3.1.5 Si el ruido varía con el tiempo de una manera más complicada, el nivel sonoro equivalente, L_{eq}, deberá obtenerse a partir de un análisis estadístico, en el tiempo, del nivel sonoro en dB(A). Cuando sea apropiado, deberán plicarse también las correcciones de la Tabla I para el factor pico o las correspondientes al carácter del espectro del ruido.

El análisis estadístico puede realizarse mediante métodos analógicos o digitales. En algunos casos, puede ser suficiente determinar la distribución estadística, mediante una técnica de muestreo con lectura directa del sonómetro, realizada a intervalos de tiempo determinados.

Los intervalos de nivel sonoro deben escogerse de acuerdo con el carácter del ruido. En la mayoría de los casos será apropiado un intervalo de 5 dB(A).

El nivel sonoro equivalente, L_{eq}, puede calcularse a partir del principio de igual energía, según la fórmula:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{100} \sum f_i \, 10^{(L_i/10)} \right)$$

donde:

L_{eq} = Nivel sonoro equivalente, en dB(A),

L_i = Nivel sonoro correspondiente al valor central del intervalo "i" (Para intervalos no superiores a

5 dB(A), puede usarse la media aritmética y para intervalos superiores a 5 dB(A) se deberá utilizar la media logarítmica).

f_i = Intervalo de tiempo (expresado en porcentaje del período de tiempo de medida) para el cual el nivel sonoro está dentro de los límites del intervalo "i". (Ver párrafo 4.1.4).

El período de tiempo *significativo* deberá ser establecido por las autoridades competentes.

3.1.6 El nivel sonoro equivalente de respuesta comunitaria se determinará como sigue:

- Para ruidos de nivel constante:
$L_r = L_A + 5$ cuando el ruído es impulsivo, cuando contiene tonos audibles o si está formado por una - mezcla de ambos; cuando el ruído es intermitente deberán tenerse en cuenta además las correcciones correspondientes a su duración.

- Para ruídos de nivel fluctuante:
$L_r = L_{eq} + 5$ cuando el ruído es impulsivo, cuando contiene tonos audibles o ambos.

4. Criterio de Ruído

En general, un ruído puede provocar quejas cuando su nivel sonoro sea superior en un cierto valor del ruído del ruído de fondo preexistente o cuando alcanza un determinado nivel absoluto.

El método de calificación del ruído se basa en una comparación del nivel sonoro calculado, L_r, y un "criterio de niveles", que es el nivel sonoro teóricamente aceptable según las características del medio ambiente considerado. El "criterio" está relacionado con el nivel de fondo de la zona, bien estableciéndolo para un cierto lugar en general, o medido directamente en cada caso particular.

El método para obtener un criterio de clasificación del ruido, en general, se indica en el párrafo 4.1; el método para la clasificación del ruído en casos particulares, basado en el nivel de ruído de fondo - medido, figura en el párrafo 4.2. En el apartado 6 se da una correspondencia aproximada entre el exceso de ruído sobre el criterio y la posible reacción comunitaria.

4.1 Criterios generales de ruído.

Los criterios generales de ruido a efectos de zonificación, pueden obtenerse a partir de un valor base, por adición de las correcciones según el momento del día y las diferentes zonas urbanas.

El valor base para una comunidad ha de establecerse de acuerdo con los hábitos de vida de su población.

NOTA:

El criterio general base para zonas habitables deberá estar en el intervalo de 35 a 45 dB(A) para ruídos en el exterior.

4.1.1 Las correcciones del criterio base en diferentes períodos del día vienen indicadas en la Tabla 6.4.7

Puede ser conveniente usar solo los períodos "día" y "noche" con las correcciones dadas anteriormente y omitir el de "tarde".

4.1.2 Las correcciones del criterio base de ruído para zonas habitables se indican en la Tabla 6.4.8

La experiencia local en las diferentes comunidades conducirá a definiciones diferentes de zonas, teniendo en cuenta las leyes o prescripciones existentes.

NOTAS:

- Estas correcciones no se aplicarán a las zonas comerciales e industriales.
- Se considera tráfico pesado a los vehículos de más de nueve plazas y/o más de 3,5 Tm.

4.2 Casos particulares de quejas.

En los casos particulares en los que el ruído de fondo supere el criterio corregido, dicho nivel de fondo servirá como criterio.

El nivel de ruído de fondo, en dB(A), es el nivel de ruído mínimo, en el lugar y tiempo significativo, en ausencia del ruído que es motivo de queja. Este nivel se obtiene observando la lectura del sonómetro y corresponde al nivel más bajo que se repita varias veces (media mínima). Cuando se use un análisis estadístico del nivel sonoro, el nivel del ruído de fondo deberá tomarse como el nivel que se supera durante el 95% del tiempo de observación.

NOTAS:

1. El nivel de ruído de fondo incluye apropiadamente, las influencias del tipo de zona, la época del año, la hora del día, y el tráfico rodado, y no se usará ninguna corrección. Este criterio sirve de la misma manera para establecer el ruído en el exterior y en el interior de un edificio, con ventanas -- abiertas o cerradas siempre que éste se mida bajo las mismas condiciones.
2. Para prevenir el posible aumento gradual del nivel de ruído de fondo en una zona, es conveniente comparar el nivel de ruído de fondo medido en la misma, con el criterio general obtenido de acuerdo con el apartado 4.1 para esta zona en un tiempo significativo.

5. Valoración del ruído con respecto a la respuesta comunitaria.

Con el fin de valorar el ruído respecto a la respuesta comunitaria, el nivel del ruído que va a servir de referencia para la clasificación, obtenido de acuerdo con el apartado 3, deberá compararse con el valor del criterio dado en los párrafos 4.1 y 4.2. Si este nivel de ruído de referencia excede del valor del criterio, el ruído podrá ser motivo de quejas por parte de la comunidad. En la Tabla 6.4.9 se recogen las posibilidades de quejas por parte de la comunidad en función del exceso de ruído evaluado, L_r, sobre el criterio establecido.

6. Datos del Informe

El informe contendrá, al menos, los siguientes datos:

a) Nivel de ruído medido, L_A en dB(A)
b) Duración del ruído o, para niveles fluctuantes, su distribución estadística.
c) Condiciones de funcionamiento de la fuente de ruído y condiciones atmosféricas.
d) Período del día en que se produce el ruído y la hora a la que se han realizado las medidas.
e) Las correcciones aplicadas en L_A.
f) Nivel de ruído, L_r, que va a servir de referencia para la clasificación.
g) Medida del nivel de ruído de fondo.
h) Criterio del valor del ruído correspondiente a la zona urbana y tiempo significativo.

TABLA 6.4.6.

CORRECCIONES AL NIVEL SONORO L_A MEDIDO EN dB(A)

Tipo del ruído	Características del ruido		Corrección en dB(A)
Ruído impulsivo	Factor de pico		+ 5
Ruído con tonos audibles	Carácter del espectro		+ 5
Ruido intermitente	Porcentaje de duración del ruído respecto al período de tiempo significativo	Intervalo	
		100-56	0
		56-18	- 5
		18-16	-10
		6-1,8	-15
		1,8-0,6	-20
		0,6-0,2	-25
		0,2	-30

TABLA 6.4.7

CORRECCIONES DEL CRITERIO BASE PARA DIFERENTES PERIODOS DEL DIA

Período del día	Correcciones a los criterios base dB(A)
Durante el día	0
Tarde	-5
Noche	-10 a -15

TABLA 6.4.8

CORRECCIONES AL CRITERIO BASE PARA ZONAS HABITABLES

Tipo de Zona	Correcciones al criterio base dB(A)
Zona rural o sanitaria	0
Zona residencial o suburbana..	+ 5
Zona de vivienda y oficinas....	+10
Zona comercial...............	+20
Zona industrial...............	+25

TABLA 6.4.9

ESTIMACION DE LA RESPUESTA DE UNA COMUNIDAD AL RUIDO

Exceso de nivel de ruído evaluado, L_r sobre el criterio de ruído, dB(A)		
0	-	- No se producirán quejas
5	Pequeña	- Quejas esporádicas
10	Media	- Quejas generalizadas
15	Fuerte	- Amenazas de acción comunitaria.
20	Muy fuerte	- Vigorosa acción comunitaria.

APENDICE A. ANALISIS DE FRECUENCIAS

Para identificar los componentes molestos de los ruídos y en su caso adoptar las medidas correctoras apropiadas es conveniente obtener el espectro en frecuencia de ruídos, que por comparación con espectros de ruídos patrones permita conocer las posibles bandas de frecuencia perturbadoras. Existen diferentes tipos de curvas de influencia, una de las cuales son las curvas NR (noise rating).

Las curvas NR dadas en la Figura A-1 y en la Tabla A-1, se indican los niveles de presión sonora de las bandas de octava correspondientes.

El análisis de ruído en bandas de octava, para intervalos 31.5 a 8000 Hz (frecuencias centrales de las bandas) deberá realizarse con filtros que cumplan con la publicación CEI 225 "Filtro de banda de 1/1 octava, 1/2 octava y 1/3 octava para análisis de sonidos y vibraciones". Estas bandas de octava deberán corregirse, si fuese necesario, de acuerdo con el método descrito en el apartado 4. A cada nivel de presión de banda corregida se le asigna un número NR, de acuerdo con la Tabla A-1, los cuales serán comparados con un valor numérico de criterio expresado también en números NR, conforme al apartado 6.

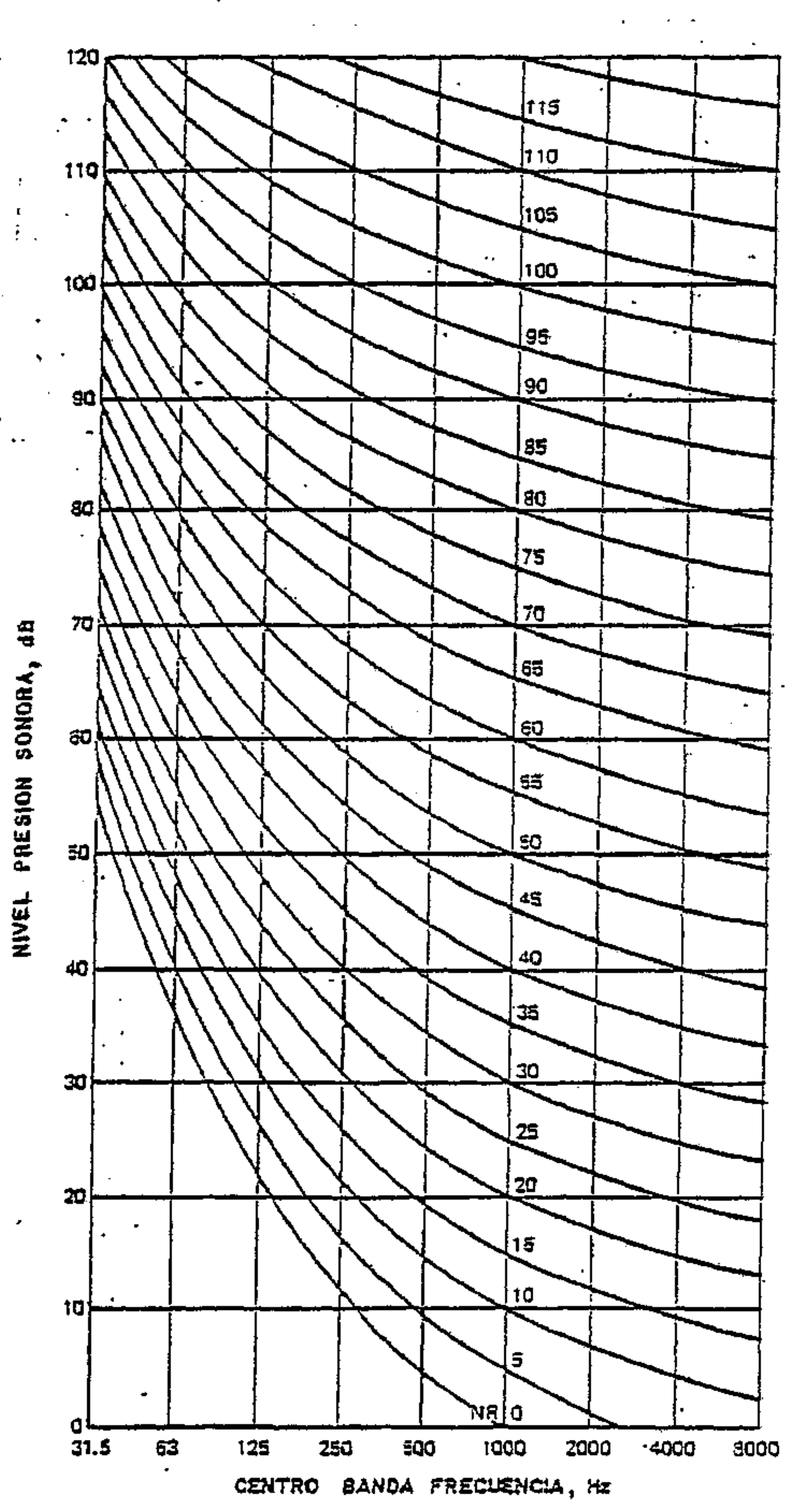


Figura A-1. - Curvas de grado de ruido

TABLA A-1. NIVELES DE PRESION SONORA EN BANDAS DE OCTAVA CORRESPONDIENTES A RUIDOS MEDIDOS EN NÚMEROS NR.

NR	Frecuencias centrales (Hz)								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0	55,4	35,5	22,0	12,0	4,8	0	-3,5	-6,1	-8,0
5	58,8	39,4	26,3	16,6	9,7	5	÷1,6	-1,0	-2,8
10	62,2	43,4	30,7	21,3	14,5	10	6,6	÷4,2	÷2,3
15	65,6	47,3	35,0	25,9	19,4	15	11,7	9,3	7,4
20	69,0	51,3	39,4	30,6	24,3	20	16,8	14,4	12,6
25	72,4	55,2	43,7	35,2	29,2	25	21,9	19,5	17,7
30	75,8	59,2	48,1	39,9	34,0	30	26,9	24,7	22,9
35	79,2	63,1	52,4	44,5	38,9	35	32,0	29,8	28,0
40	82,6	67,1	56,8	49,2	43,8	40	37,1	34,9	33,2
45	86,0	71,0	61,1	53,8	48,6	45	42,2	40,0	38,3
50	89,4	75,0	65,5	58,5	53,5	50	47,2	45,2	43,5
55	92,9	78,9	69,8	63,1	58,4	55	52,3	50,3	48,6
60	96,3	82,9	74,2	67,8	63,2	60	57,4	55,4	53,8
65	99,7	86,8	78,5	72,4	68,1	65	62,5	60,5	58,9
70	103,1	90,8	82,9	77,1	73,0	70	67,5	65,7	64,1
75	106,5	94,7	87,2	81,7	77,9	75	72,6	70,8	69,2
80	109,9	98,7	91,6	86,4	82,7	80	77,7	75,9	74,4
85	113,3	102,6	95,9	91,0	87,6	85	82,8	81,0	79,5
90	116,7	106,6	100,3	95,7	92,5	90	87,8	86,2	84,7
95	120,1	110,5	104,6	100,3	97,3	95	92,9	91,3	89,8
100	123,5	114,5	109,0	105,0	105,0	100	98,0	96,4	95,0
105	126,9	118,4	113,3	109,6	107,1	105	103,1	101,5	100,1
110	130,3	122,4	117,7	114,3	111,9	110	108,1	106,7	105,3
115	133,7	126,3	122,0	118,9	116,8	115	113,2	111,8	110,4
120	137,1	130,3	126,4	123,6	121,7	120	118,3	116,9	115,6
125	140,5	134,2	130,7	128,2	126,6	125	123,4	122,0	120,7
130	143,9	138,2	135,1	132,9	131,4	130	128,4	127,2	125,9

APENDICE B: VALORACION DE RUIDOS EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS

Deberán hacerse otras correcciones a las tratadas anteriormente de acuerdo con la disminución del nivel sonoro según se mida en el interior del local, con las ventanas abiertas o cerradas. Las correcciones se dan en la siguiente Tabla B-1.

Normalmente, el criterio de ruído no debe ser inferior a 20 dB(A).

Influencia de los criterios de uso del local

La Tabla B-2 propone unos criterios de ruído en función de la utilización que se realice del inmueble, en el caso de que éstos no sean residenciales. Estos valores se refieren fundamentalmente al ruído existente en el interior de los inmuebles, pero generados en el exterior.

TABLA B-1

Ventanas	Corrección dB(A)
Abiertas	-10
Ventanas simples cerradas	-15
Ventanas dobles cerradas	-20

TABLA B-2

Uso del local	Criterio de ruído dB(A)
Grandes oficinas, oficinas públicas, grandes almacenes, restaurantes tranquilos	35
Grandes restaurantes, autoservicios, oficinas mecanizadas....	45
Oficinas mecánicas de grandes dimensiones	55
Talleres	45 a 75

4.6 LEGISLACION ESPAÑOLA

A) RUIDO EN PUESTOS DE TRABAJO

La actual legislación española en materia de ruido laboral está contenida en la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo de 1971, en la cual se establece:

Artículo 31. Ruidos, Vibraciones y Trepitaciones

1. Los ruidos y vibraciones se evitarán o reducirán en lo posible en su foco de origen, tratando de aminorar su propagación en los locales de trabajo.

2. El anclaje de máquinas y aparatos que produzcan ruidos, vibraciones o trepidaciones se realizará con las técnicas más eficaces a fin de lograr su óptimo equilibrio estático y dinámico, tales como bancadas cuyo peso sea superior de 1,5 a 2,5 veces al de la máquina que soportan, por aislamiento de la estructura general o por otros recursos técnicos.

3. Las máquinas que produzcan ruidos o vibraciones molestas se aislarán adecuadamente y en el recinto de aquéllas sólo trabajará el personal necesario para su mantenimiento durante el tiempo indispensable.

4. Se prohibe instalar máquinas o aparatos ruidosos adosados a paredes o columnas, de las que distarán como mínimo: 0,70 metros de los tabiques medianeros y un metro de las paredes exteriores o columnas.

5. Se extremará el cuidado y mantenimiento de las máquinas y aparatos que produzcan vibraciones molestas o peligrosas a los trabajadores y, muy especialmente, los órganos móviles y los dispositivos de transmisión de movimiento.

6. Los conductos con circulación forzada de líquidos o gases, especialmente cuando estén conectados directamente con máquinas que tengan órganos en movimiento, estarán provistos de dispositivos que impidan la transmisión de las vibraciones que generan aquéllas.

7. Estos conductos se aislarán con materiales absorbentes en sus anclajes y en las partes de su recorrido que atraviesen muros o tabiques.

8. El control de ruidos agresivos en los centros de trabajo no se limitará al aislamiento del foco que los produce, sino que también deberán adoptarse las prevenciones técnicas necesarias para evitar que los fenómenos de reflexión y resonancia alcancen niveles peligrosos para la salud de los trabajadores.

9. A partir de los 80 decibelios y siempre que no se logre la disminución del nivel sonoro por otros procedimientos se emplearán obligatoriamente dispositivos de protección personal tales como tapones, cascos, etc., y a partir de los 110 decibelios se extremara tal protección para evitar totalmente las sensaciones dolorosas o graves.

10. Las máquinas-herramientas que originen trepidaciones, tales como martillos neumáticos, apisonadoras, remachadoras, compactadoras o vibradoras, o similares deberán estar provistas de horquillas y otros dispositivos amortiguadores, y al trabajador que las utilice se le proveerá de equipo de protección personal antivibratorio (cinturón, guantes, almohadillas, botas.).

11. Las máquinas operadoras automóviles, como tractores, traíllas, excavadoras o análogas, que produzcan trepidaciones y vibraciones estarán provistas de asientos con amortiguadores y sus conductores serán provistos de equipo de protección personal adecuado, como fajas, guantes, etc.

Artículo 147. Protección de los oidos.

1. Cuando el nivel de ruidos en un puesto o área de trabajo sobrepase el margen de seguridad establecido y, en todo caso, cuando sea superior a 80 decibelios, será obligatorio el uso de elementos o aparatos individuales de protección auditiva, sin perjuicio de las medidas generales de aislamento e insonorización que proceda adoptar.

2. Para los ruidos de muy elevada intensidad se dotará a los trabajadores que hayan se soportarlos, de auriculares con filtro, orejeras de almohadilla, discos o casquetes antirruidos o dispositivos similares.

3. Cuando se sobrepase eldintel de seguridad normal, será obligatorio el uso de tapones contra ruido, de goma, plástico, cera maleable, algodón o lana de vidrio.

4. La protección de los pabellones del oído se combinará con la del cráneo y la cara por los medios previstos en este Capítulo.

5. Los elementos de protección auditiva serán siempre de uso individual.

Esta legislación adolece de ser muy poco realista pues no fija niveles adecuados ni dosis de ruido.

Posteriormente en Decreto de 12 de mayo de 1978 se consideran estos últimos aspectos en la enumeración de las enfermedades profesionales se establece:

Hipoacusia o sordera provocada por el ruido.

Trabajos que expongan a ruidos contínuos de nivel sonoro equivalente o superior a 80 decibelios A, durante ocho horas diarias o cuarenta horas semanales y especialmente:

Trabajos de calderería.
Trabajos de estampado, embutido, remachado y martillado de metales.
Trabajos en telares de lanzadera batiente.
Trabajos de control y puesta a punto de motores de aviación, reactores o de pistón.
Trabajos con martillos o perforadoras neumáticos en minas, túneles y galerías subterráneas.
Trabajos en salas de máquinas de navíos.
Tráfico aéreo (personal de tierra, mecánicos y personal de navegación, de aviones a reacción, etc).
Talado y corte de árboles consierras portátiles.
Salas de recreación (discotecas, etc.).
Trabajos de obras públicas (rutas, construcciones, etc) efectuados con máquinas ruidosas como las bulldozers, excavadoras, palas mecánicas, etc.
Motores Diesel, en particular en las dragas y los vehículos de transportes de ruta, ferroviarios y marítimos.

B) RUIDO AMBIENTAL

La problemática del ruido ambiental se contempla en los siguientes documentos:

- Decreto de 30 de Noviembre de 1961, en el que se aprueba el nuevo Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.
- Decreto de 16 de Agosto de 1968, por el que se regula la aplicación del Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas en zonas de dominio público y sobre actividades ejecutables directamente por Organos Oficiales.
- Decreto de 16 de Agosto de 1968, sobre régimen de poblaciones con altos niveles de contaminación atmosférica o de perturbaciones por ruidos y vibraciones.

REGLAMENTO DE ACTIVIDADES MOLESTAS; INSALUBRES, NOCIVAS Y PELIGROSAS

Este Reglamento es de obligatoria observancia para todas aquellas industrias instaladas en el territorio nacional, y tiene por objeto evitar que éstas originen durante el desarrollo de su actividad normal, alteraciones en las condiciones normales de salubridad e higiene del medio ambiente y ocasionen daños a las riquezas pública o privada o impliquen riesgos graves para las personas o los bienes.

Son calificadas como molestas aquellas actividades que constituyan una incomodidad por los niveles de ruido que produzcan, debiéndo supeditarse en cuanto a su emplazamiento a lo dispuesto sobre el particular en las Ordenanzas Municipales y en los Planes de Urbanismo del respectivo Ayuntamiento, y en el caso de no existir tales normas, la Comisión Provincial de Servicios Técnicos señalará el lugar adecuado de ubicación, considerando las circunstancias particulares de la actividad de que se trate, la necesidad de su proximidad al vecindario, los informes técnicos y la aplicación de medidas correctoras.

En el Capítulo II, este reglamento establece que es competencia de los Alcaldes la concesión de licencias de apertura, la vigilancia en el cumplimiento de este reglamento y la sanción cuando no se cumpla.

Los Ayuntamientos deberán reglamentar, en las adecuadas Ordenanzas Municipales, el emplazamiento de estas actividades, límites de emisión e inmisión, etc., estando asesoradas por las Comisiones Provinciales de Servicios Técnicos, tanto en la redacción de las mencionadas ordenanzas como en la adopción de medidas correctoras. Los Gobernadores Civiles ejercerán la alta vigilancia del cumplimiento de lo dispuesto en el Reglamento.

En la última parte de este documento se especifican los procedimientos de solicitud de licencia de apertura de estas actividades, tramitaciones municipales, inspecciones gubernativas, requerimiento para la aplicación de correcciones de deficiencias. Igualmente se especifican los tipos de cuantías de las sanciones a aplicar cuando no se cumpla lo especificado en el Reglamento.

Al final del documento se incluye un nomenclator con la clasificación de las actividades consideradas como molestas, insalubres, nocivas y peligrosas. En la Tabla 6.4.11 se relacionan todas aquellas consideradas como molestas por efectos del ruido que emiten.

REGIMEN DE POBLACIONES CON ALTOS NIVELES DE PERTURBACIONES POR RUIDOS Y VIBRACIONES

El Decreto que contempla aquellas situaciones con altos niveles sonoros ambientales establece que son los Ayuntamientos quienes tienen la capacidad de adoptar de oficio o a instancia de la Comisión Central de -

Saneamiento en Madrid, y de la Provincial de Servicios Técnicos en los demás municipios, las medidas y limitaciones adecuadas, para lo cual deberán los Ayuntamientos elaborar las oportunas ordenanzas de protección del medio ambiente.

Estas Ordenanzas se aplicarán a zonas específicas o a la totalidad de los términos municipales según aconsejen las circunstancias y se consideran en su caso parte integrante del Reglamento sobre Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.

Las Ordenanzas Municipales señalarán las prevenciones que deben adoptarse en las diferentes instalaciones, fijándose los límites máximos de emisión, los controles técnicos, las sanciones aplicables, los grados de responsabilidad, etc.

ORDENANZAS MUNICIPALES EN MATERIA DE RUIDO AMBIENTAL

El Ministerio de Gobernación, en su Decreto de 16 de Agosto de 1968, dispone que sean los Ayuntamientos los que mediante las oportunas Ordenanzas Municipales, fijen los límites y medidas para reducir los niveles sonoros ambientales.

El Ayuntamiento de Madrid fue el primero que siguiendo estas indicaciones, elaboró la denominada "Ordenanza Municipal sobre Protección del Medio Ambiente contra la emisión de Ruidos y Vibraciones", aprobada con fecha 30 de Abril de 1969. Esta ordenanza constituye el primer documento legal que posibilita una acción coordinada por parte de la administración en la política del ruido ambiental y ha servido de base para las ordenanzas elaboradas posteriormente por diversos municipios nacionales (Barcelona, Oviedo, Málaga, etc.).

La Ordenanza de Madrid es de obligada observancia para todas aquellas instalaciones y actividades que originen niveles de ruido molestos a la comunidad.

En el Título II, artículo 6, se establece que en el ambiente exterior no se podrá producir ningún ruido que sobrepase los niveles siguientes:

Zonas Sanitarias:	
entre 08.00 hr y 21.00 hr	45 dB(A)
entre 21.00 hr y 08.00 hr	35 dB(A)
Zonas de Viviendas y Oficinas:	
entre 08.00 hr y 22.00 hr	55 dB(A)
entre 22.00 hr y 08.00 hr	45 dB(A)
Zonas Comerciales:	
entre 08.00 hr y 22.00 hr	65 dB(A)
entre 22.00 hr y 08.00 hr	55 dB(A)
Zonas Industriales y de Almacenes	
entre 08.00 hr y 22.00 hr	70 dB(A)
entre 22.00 hr y 08.00 hr	55 dB(A)

La clasificación de las zonas se corresponde con las establecidas en las Ordenanzas Municipales de la Edificación.

Los límites señalados se aumentarán en 5 dB(A) en las vías con tráfico rápido y muy intenso y en 15 dB(A) en las de tráfico pesado y muy intenso.

En el Título III se fija que el aislamiento acústico mínimo que deben ofrecer las edificaciones de los cerramientos es de 30 dB en el intervalo de frecuencias comprendidas entre 50 y 4000 Hz; y que los elementos constructivos y de insonorización a emplear en los recintos donde ser realicen actividades o existan equipos excesivamente ruidosos deberán ser los adecuados para no superar los niveles sonoros establecidos para el exterior. En el mismo título se establece que en los inmuebles en que coexistan viviendas y otras actividades autorizadas no se permita la instalación, funcionamiento y uso de ningún equipo industrial cuyo nivel de emisión sonora exceda los 80 dB(A).

Finalmente a lo largo de los doce artículos que contiene el Título VI se establecen los procedimientos de inspección y de denuncias de actividades o instalaciones ruidosas; las faltas y sanciones a aplicar cuando se superan los niveles de emisión establecidos; y los procedimientos y trámites de recurso contra las resoluciones que se decreten en base a esta ordenanza.

TABLA 6.4.10

T.L.V. para ruido de impacto o impulso

Nivel sonoro dB **	Número de impulsos o impactos permitidos por día
140	100
130	1.000
120	10.000

** Nivel de pico de presión sonora en dB.

TABLA 6.4.11

RELACION DE ACTIVIDADES CALIFICADAS COMO MOLESTAS POR MOTIVO DEL RUIDO EMITIDO

- Elaboración de productos de molino.
- Elaboración de piensos compuestos para ganadería.
- Industrias de picado y machacado del esparto.
- Fábricas de géneros de punto.
- Fabricación de suelas troqueladas.
- Industrias de la primera transformación de la madera.
- Industrias de la segunda transformación de la madera, excepto fabricación de material y artículos diversos de madera (tornería y modelistas).
- Fabricación de muebles de madera
- Fabricación de muebles metálicos.
- Tipografías (Imprentas).
- Industrias de la prensa periódica
- Fabricación de fertilizantes fosfatados (superfosfatos, ordinarios y concentrados).
- Obtención de albayalde, litopón, bióxido de titanio, minio, óxidos rojos y ocres, derivados del cromo y cadmio, azules de Prusia y ultramas y en general colorantes y pigmentos.
- Obtención de colorantes y pigmentos de origen vegetal y animal (cochinilla, carmín de cochinilla, etc.)

- Obtención de colorantes y pigmentos sintéticos.
- Otención de negro humo.
- Fabricación de cemento hidráulico.
- Aserrado, tallado y pulido de la piedra..
- Aserrado, tallado y pulido del mármol.
- Fabricación de piedras de molino.
- Trituración de piedras y su clasificación.
- Laminación de aceros en caliente.
- Laminación de aceros en frio.
- Fabricación de hojalata.
- Laminación, forja y estampación del aluminio y aleaciones ligeras.
- Forja, laminación y tubería de cobre y sus aleaciones.
- Fabricación de artículos de fumistería.
- Fabricación de artículos de herrería.
- Fabricación de herramientas
- Fabricación de recipientes metálicos.
- Construcción metálica y calderería.
- Fabricación de tirafondos.
- Fabricación de armamento ligero.
- Fabricación de artillería.
- Construcción de maquinaria, exceptuando la maquinaría eléctrica.
- Fabricación de acumuladores eléctricos.
- Construcciones navales y reparaciones de buques.
- Construcción de equipos ferroviarios.
- Construcciones de vehículos automóviles.
- Construcción de otro material de transporte.
- Derribos y demoliciones.
- Centrales termoeléctricas a vapor.
- Centrales termoeléctricas Diesel y a gas.
- Centrales mixtas de producción de energía eléctrica (hidráulicas y térmicas a vapor, Diesel y a gas).
- Depósitos de locomotoras.
- Salas de proyección de películas.
- Locales de teatro.
- Academias y salas de fiesta y baile.
- Locales de circo.

5.1. INTRODUCCION

La problemática del ruido en la industria puede contemplarse según dos aspectos:

- niveles de ruido existentes en las zonas interiores a la industria y que afectan a los individuos que se encuentran en ella.
- contribución de la industria al nivel de ruido ambiental en zonas entorno a ella y que afectan a las comunidades situadas en dichas zonas.

Cada uno de estos aspectos señalará unos límites o niveles máximos de ruido a cumplir y que estarán expresados en las oportunas legislaciones, normas, ordenanzas, etc.

Sin embargo el cumplimiento de estos límites exigidos o recomendados no es sencillo en situaciones tales como:

- la predicción de los niveles sonoros a que estará sometido un operario en una futura instalación.
- el estudio acústico de plantas industriales durante el estado de diseño para realizar las oportunas medidas de control.
- la definición de especificaciones sobre ruido en peticiones de oferta de nuevos equipos.
- etc.

La dificultad que se presenta en estas situaciones es debida a:

- los manufacturadores parecen desconocer la potencia acústica de los equipos que producen.
- la fiabilidad de los datos que se suministran es dudosa en algunos casos.
- la información puede ser incompleta.
- existe confusión en la terminología usada.
- etc.

El propósito que aquí se tiene es el de suministrar información sobre los niveles y espectros del ruido producidos por las fuentes sonoras más usuales en la industria para de este modo poder realizar predicciones y facilitar las oportunas acciones de control de ruido. Por otra parte hay que considerar que los datos que aquí se facilitan solo deben servir como guía y orientación y solo para aquellos casos en que no se disponga de otra información.

En la Tabla 6.5.1 se presentan las características del ruido generado por diversos equipos industriales.

5.2. FUENTES DE RUIDO

En general, las fuentes de ruido son: desequilibrios, fricción, cojinetes, engranajes, aletas, turbulencia o fricción del aire, vértices, magnético e impactos.

Desequilibrio rotatorio: La frecuencia que se produce allí donde existe este tipo de desequilibrio es -- igual a la velocidad de giro y posibles armónicos superiores. Esta frecuencia viene dada por la ecuación: $f_n = \frac{\omega}{60}$ Hz

TABLA 6.5.1

CARACTERISTICAS DEL RUIDO PRODUCIDO POR DIVERSOS EQUIPOS MECANICOS

Equipo	Características del ruido o las vibraciones	
	Inherentes	Ocasional
Ventiladores Soplantes Turbinas Bombas centrífugas Compresores centrífugos Enfriadores centrífugos	Tono puro centrado en la frecuencia $f = \frac{rpm}{60}$ x nº de aspas y sus armónicos superiores	Ruido aerodinámico de banda ancha. Desbalanceo dinámico con frecuencia de vibración: $f = \frac{rpm}{60}$ y sus armónicos superiores
Torres de refrigeración	Ruido de ventilación y chapoteo de agua	Idem.
Motores Generadores	Tono puro centrado en la frecuencia $f = \frac{rpm}{60}$ o en algún multiplo	Idem. más ruido del ventilador de refrigeración.
Engranajes	Tono puro centrado en la frecuencia $f = \frac{rpm}{60}$ x nº de dientes o en algún múltiplo.	Vibraciones con frecuencias similares a las del ruido inherente. Ruido de impactos y deslizamientos.
Rodamientos	Tono puro centrado en la frecuencia $f = \frac{rpm}{60}$ y en multiplos	Idem.
Esmeriladoras	Ruido de banda ancha con tonos puros a la frecuencia. $f = \frac{rpm}{60}$ y en multiplos	Idem.
Sierras Cepillos	Tono puro centrado en la frecuencia $f = \frac{rpm}{60}$ x nº de dientes, hojas o cuchillos	Idem y el ruido de vibración de la sierra

TABLA 6.5.1 Continuación

Equipo	Características del ruido de las vibraciones	
	Inherentes	Ocasional
Motores de combustión interna	Ruido de banda ancha con tono puro en la frecuencia $f = \frac{rpm}{60} \times$ nº de cilindros Ruido de salida de gases	Ruido del ventilador de refrigeración y de la bomba, repiqueteo de las válvulas, ruido del aire. Desbalanceo dinámico con frecuencia de vibración $f = \frac{rpm}{60}$ y sus armónicos superiores
Compresores Bombas hidraulicas	Ruido de banda ancha con tono puro en la frecuencia $f = \frac{rpm}{60} \times$ nº de cilindros Ruido de entrada y salida de gases.	Idem. Pulsaciones de presión en las líneas de gases y fluidos, la frecuencia de estas vibraciones está relacionada con la frecuencia de sonido inherente.
Transformadores	Tonos puros centrados en la frecuencia $f = 2 \times$ nº de ciclos de la red o sus armonicos	Vibraciones en cubiertas carcasas protectoras, cerramientos y asentamientos de frecuencias multiplos del sonido inherente
Vibradores de alta velocidad	Vibraciones o zumbidos	Idem.
Vibradores Agitadores de alta velocidad	Ruido de banda ancha principalmente	Idem.
Campanas Zumbadores Bocinas	Tonos puros cuya frecuencia depende del método de generación	
Prensas Martillos Cizallas Ribeteadoras Punzadoras Vibradores de baja velocidad Máquinas de oficina Equipos de impresión	Ruido de impactos de banda ancha generalmente	Vibraciones de banda ancha
Flujo de aire en conductos Flujo de fluidos en conducciones	Ruido de banda ancha principalmente	Idem. Cavitación Desbalanceos que crean pulsaciones
Valvulas y sistemas de medida Sistemas reguladores Amortiguadores Orificios Escapes	Tipo de sonido A menudo presencia de tonos puros A menudo a altas frecuencias	Idem. Las ondas sonoras con frecuencia recogen grandes distancias a lo largo de los conductos o conducciones. Pulsaciones de gran intensidad cuando las valvulas o los sistemas reguladores son abiertos o cerrados.

siendo ω la velocidad de giro en r.p.m.

Normalmente su desequilibrio no actúa como fuente de ruido directamente, más bien se comporta como una energía vibratoria que se transmite a través del soporte para convertirse en ondas sonoras en cualquier punto de resonancia.

Ruido de fricción: Este ruido surge de la falta de suficiente lubricación entre dos superficies que rozan y se manifiesta como una vibración de impacto resultantes del contacto rápido e intermitente de las dos superficies. El ruido en el punto de contacto es de alta frecuencia, semejante a un silbido, y cuando la vibración se transmite a un punto resonante de la estructura el sonido audible se puede describir como un chirrido.

La frecuencia principal del ruido no puede describirse como una ecuación . pero está relacionada con el acabado de las superficies en contacto. Esto y la carga normal también afectan el nivel de ruido.

Ruido de cojinetes: Los cojinetes de elementos rodantes son, por su constitución, más ruidosos que los de fricción. Estos últimos son principalmente transmisores de vibraciones y aunque a veces originen ruido por falta de lubricación como se ha visto antes, predominan sus características transmisoras.

Las características predominantemente productoras de ruido en un cojinete de bolas son: geometría del canal de rodadura (ondulación, excentricidad y paralelismo) oscilación de la guía y esfericidad y geometría de las bolas.

Las siguientes ecuaciones nos permiten deducir las frecuencias discretas en que generan ruido los rodamientos y qué partes de éste son las causantes. El significado de las letras en las ecuaciones es:

r_B = radio del elemento rodante (bola o rodillo).
r_T = radio del tren guía
n = número de elementos rodantes
ω_R = velocidad del eje móvil (r.p.m.)
= ángulo de contacto (grados)

- La frecuencia fundamental de la rotación, que aparece al menor desequilibrio o excentricidad es:

$$f_r = \frac{\omega_R}{60} \text{ Hz}$$

- La frecuencia fundamental de la jaula cuando el anillo interior gira y el exterior está fijo es:

$$f_T = \frac{f_r}{2} \left(1 - \frac{r_B}{r_T} \cos\beta \right) \text{ Hz}$$

y si el anillo interior está fijo y el exterior gira será:

$$f_T = \frac{f_r}{2} \left(1 + \frac{r_B}{r_T} \cos\beta \right) \text{ Hz}$$

El que tengamos componentes de ruido a estas frecuencias nos indica que existe una irregularidad en el elemento rodante o en la guía.

- La frecuencia de giro de las bolas o rodillos es:

$$f_B = \frac{r_T}{2r_B} f_r \left[1 - \left(\frac{r_B}{r_T} \right)^2 \cos^2 \beta \right] \quad Hz$$

pero una aspereza o un pique de un elemento nos origina una frecuencia doble:

$$f_e = 2 f_B \ (Hz)$$

pues esta picadura contacta en cada vuelta alternativamente con la pista interior y con la exterior.

- La frecuencia debida al movimiento relativo entre la jaula y el anillo en movimiento es:

$$f'_T = f_r - f_T \quad (Hz)$$

- Si hay una irregularidad en el canal de rodadura del anillo que gira, la frecuencia será:

$$f_{ar} = n \ f'_T \quad (Hz)$$

y si la irregularidad está en el canal del anillo fijo:

$$f_{as} = n \ f_T \quad (Hz)$$

En el caso de haber varios elementos dañados, los armónicos de esta frecuencia serán más pronunciados.

Ruido de engranajes: Este ruido es particularmente interesante porque la frecuencia de energía está en la mayoría de las aplicaciones dentro de la gama audible.

La frecuencia de engrane para un sistema simple de árbol auxiliar es:

$$f_g = n \ \frac{\omega}{60} \quad Hz$$

siendo n el número de dientes del engranaje y ω su velocidad de giro en r.p.m.

Un engranaje planetario con el engranaje anillo fijo tiene una frecuencia de contacto dada por la ecuación:

$$f_{pg} = n_r \ \frac{(\omega_r \pm \omega_c)}{60} \quad Hz$$

donde n_r es el número de dientes de un engranaje cualquiera tomado como referencia y ω_r es su velocidad en r.p.m., ω_c es la velocidad de la cruceta en r.p.m. y su signo es positivo para sentidos de giro opuestos.

Si un engranaje y un piñón tienen un error cada uno en un diente, el máximo de ruido se producirá al encontrarse los dientes defectuosos de ambas ruedas. Esta frecuencia es:

$$f_{tr} = \frac{\omega_g}{60 \, n_p} \quad (Hz)$$

siendo ω_g la velocidad del engranaje en r.p.m. y n_p el número de dientes del piñón.

Además de las fuentes de ruido excitadas por el funcionamiento, también hay ruidos característicos del diseño y del método de fabricación. Si hacemos un corte de una rueda dentada entre el cubo y un borde exterior tenemos una estructura parecida a una campana con una serie de frecuencias naturales que es muy importante que no coincidan con las producidas durante el funcionamiento.

Factores que influyen en el ruido de impacto entre dientes son: precisión del tallado de los dientes, separación entre los mismos y excentricidad del anillo base.

El embolsamiento del aire es otra causa de ruido en los engranajes; consiste en la expulsión del aire comprendido entre dos dientes por la entrada de otro diente de la rueda opuesta y la succión originada por el vacío entre dos dientes al desengranar el opuesto. Su frecuencia coincide con la de contacto de dientes. No es importante salvo en máquinas de alta velocidad.

El embolsamiento de aceite es un efecto semejante al anterior, pero más serio, pues el aceite es incomprensible y las ondas de choque producidas por el golpeteo de los dientes sobre el aceite embolsado entre otros dos puede transmitirse facilmente a toda la estructura.

Ruido de maquinaria eléctrica: Aquí se puede distinguir entre dos tipos de ruido, uno magnético y otro de turbulencia del aire. El primero está causado por fuerzas periódicas que tienen su origen en el entrehierro entre el rotor y el estator, estas fuerzas son proporcionales al cuadrado de la densidad de flujo y se localizan en cualquier punto de las superficies del entrehierro. La componente tangencial de todas estas fuerzas contribuyen al par total que hace girar al rotor pero las componentes radiales producen ruido que aparece solo en armónicos de la red y a frecuencias relacionadas con el deslizamiento y la red.

Las pulsaciones de la fuerza tangencial producen una vibración torsional del rotor, el cual, a su vez, puede producir que la estructura del estator se balancee en sus soportes (vibración estructural).

En motores de inducción, las principales fuentes de ruido magnético son: zumbido de inducción (aparece al doble de la frecuencia de la red) y armónicos del número de ranuras del rotor que por lo general se manifiestan en las siguientes frecuencias:

$$f_m = \left(\frac{R.\omega}{60}\right) \pm 2\ f\ (Hz)$$

Donde R es el número de ranuras del rotor, n la velocidad de éste en r.p.m. y f la frecuencia de la red en Hz.

El ruido de turbulencia se origina en las ranuras del rotor al pasar por puntos donde el entrehierro cambia. La frecuencia fundamental es:

$$f_s = \frac{R.\omega}{60}\ Hz.$$

Aún hay otro tipo de ruido originado en los conductos radiales de ventilación del rotor y el estator en grandes motores. Pueden surgir componentes discretas de ruido aéreo con niveles de presión sonora altos por la interrupción brusca del flujo radial de aire cuando el estator y el rotor cambian de posición relativa. Se manifiesta a la misma frecuencia que el ruido de turbulencia o al doble de ésta.

Ruido de álabe: También se le conoce como ruido rotacional, es el resultado de un pulso de aire cada vez que la hoja de un ventilador pasa por un punto dado. La repetición de este pulso determina la frecuencía fundamental y la anchura del álabe la intensidad de los armónicos; aumentando aquella, disminuye la intensidad de éstos.

La frecuencia fundamental es:

$$f_v = n \cdot \frac{\omega}{60} \text{ Hz.}$$

siendo n el número de álabes y ω la velocidad de giro en r.p.m.

Fricción del aire: Este tipo de ruido es más corriente en máquinas rotativas de alta velocidad. Se origina por la presencia de obstrucciones en la vecindad de componentes giratorios que aceleran el aire y crean turbulencias. La intensidad del ruido cambia aproximadamente con la raiz cuadrada de la aceleración del aire y su frecuencia fundamental es función de la velocidad de giro y la estrechez relativa de las obstrucciones. Una variación en el tamaño del obstáculo o en la distancia de éste provoca un ruido de banda ancha.

Ruido de vórtice: El ruido de vórtice es causado por los álabes de un ventilador incorrectamente diseñado y resulta de las fluctuaciones rápidas de presión o por la formación de remolinos. Cuando un álabe se mueve a través del aire, se genera un gradiente de presión en dirección perpendicular al mismo; si el perfil de éste no es correcto, el flujo de aire puede separarse del lado convexo del álabe, dando origen a torbellinos a una distancia variable del álabe.

Además, debido a que el canto de salida ha de tener un espesor finito, los vórtices de Von Karman se desprenden de éste alternativamente, primero por un lado y luego por el otro. Ya que los vórtices son aleatorios en cuanto a tamaño y lugar de desprendimiento, producen un ruido de banda ancha.

El ruido de vórtice aumenta con la anchura del canto de salida. También aumenta bruscamente cuando las hojas siguientes rozan los torbellinos desprendidos de una de ellas.

El rango de frecuencias que cubre el ruido de los vórtices de Von Karman es aproximadamente:

$$f_v = 0,182 \frac{v}{d} \text{ Hz}$$

siendo v la velocidad lineal del álabe y de la proyección del perfil de éste sobre un plano perpendicular a la dirección del movimiento del aire.

Las velocidades lineales máxima y mínima son:

$$V_{min} = 2.\pi.\omega \frac{R_{min}}{60} \quad y \quad V_{max.} = 2.\pi.\omega \frac{R_{máx}}{60}$$

siendo ω la velocidad de giro en r.p.m. y Rmin y Rmáx los radios mínimo y máximo de la hoja.

5.3. VENTILADORES

El ruido producido por los ventiladores constituye un problema muy común en todo tipo de industrias y que puede afectar asimismo a la comunidad.

El ruido de ventilación es de origen aerodinámico y proviene de las turbulencias que se producen al paso del aire a través del sistema de ventilación.

Este origen aerodinámico permite establecer las siguientes observaciones:

- todo ventilador, aún el de más perfecto diseño aerodinámico, debe producir ruido puesto que siempre se generan turbulencias.
- la intensidad de la turbulencia aumentará el nivel de ruido al aumentar la velocidad del flujo.
- cualquier fallo en el diseño u operación que modifique el flujo, aumentará el nivel de ruido.
- la proximidad de los álabes a superficies fijas aumentará el ruido del ventilador, especialmente en la frecuencia de paso.
- las vibraciones del ventilador, generalmente, no intervienen en el ruido del ventilador. La generación del ruido aerodinámico no depende del movimiento de las superficies.

En función de los parametros operacionales, el nivel de presión sonora generado por los ventiladores varía según:

10 log potencia mecánica
10 log presión estática
50 log velocidad (r.p.m.)

Existen diversos métodos de predicción del nivel de ruido producido por los ventiladores, sin embargo al haber sido obtenidos experimentalmente la mayor parte de ellos, puede esperarse ciertas discrepancias entre los valores teóricos obtenidos y los reales. Dichos métodos determinan un nivel base dependiendo de las características del ventilador (caudal, presión, potencia, etc.) que es posteriormente corregido según el tipo de ventilador, así como para la frecuencia de paso propia del sistema.

Así el nivel de potencia sonora se puede calcular por la expresión:

$$SWL = SWL_o + 10 \log Q + 20 \log P$$

donde

SWL = nivel de potencia sonora en cada banda de octava
SWL_o = nivel de potencia sonora base para cada banda de octava y tipo de ventilador, dado en Tabla 6.5.2
Q = Caudal, m^3/h.
P = presión estática, mm H2O

En la misma Tabla 6.5.2 presenta la corrección que se debe realizar en la banda de octava correspondiente a la frecuencia de paso del ventilador y que se determina por:

$$f = S\ N/60$$

donde

S = velocidad del ventilador, r.p.m.
N = número de alabes del ventilador

Otro método de calculo dependiendo de los parametros que se conozcan, es mediante las siguientes expresiones:

SWL = 77 + 10 log W + 10 log P
SWL = 26 + 10 log Q + 20 log P (a)
SWL = 130 + 20 log W − 10 log Q

donde

SWL = nivel de potencia sonora, dB
W = potencia, KW
P = presión estática, mm. H20
Q = caudal, m^3/h.

El espectro en bandas de octava se obtiene, para cada tipo de ventilador, aplicando al nivel de potencia sonora calculando mediante las ecuaciones (a), las correcciones dadas en la Tabla 6.5.3

5.4. MOTORES ELECTRICOS

El ruido de los motores eléctricos proviene fundamentalmente de:

- el ruido producido por las fuerzas electromagnéticas que se presentan entre el rotor y el estator como consecuencia de las variaciones de flujo. El nivel de potencia sonora dependerá del número de polos, la potencia, la velocidad de giro, el espacio libre entre el estator y el rotor, etc.
- el ruido creado por los ventiladores de enfriamiento y que será en muchos casos la fuente sonora principal. En este caso la predicción de los niveles de ruido se realiza según las expresiones del ruido de ventiladores.

Existen diversas normas que especifican el nivel máximo de ruido que pueden producir los motores eléctricos. En la Tabla 6.5.4, se presentan los niveles sonoros en dB(A) permitidos según los criterios NEMA e IEC en función de la potencia del motor. Hay que considerar que el criterio NEMA es para corriente de 60 Hz, mientras que el criterio IEC lo es para 50 Hz. En las Tablas 6.5.4 y 6.5.5 se muestran los niveles de potencia y presión sonora propuestos por IEC para los diversos tipos de motores eléctricos.

Los niveles de potencia sonora en bandas de octava pueden obtenerse mediante la expresión:

SWL = dB (A) − CF

donde el factor de corrección, CF, está dado en la Tabla 6.5.6

5.5. MOTORES DIESEL

Pueden constituir una fuente secundaria de ruido que acompaña a otros, equipos tales como bombas, compresores, generadores, etc. La Figura 6.5.1 presenta los niveles de presión sonora típicos para motores entre 75 y 1.350 KW. También se incluye las correcciones a realizar para obtener el espectro.

En función de los parametros operacionales, el nivel de presión sonora generado por los motores de combustión interna varía según

10 log potencia mecánica ; 30 log velocidad (r.p.m.)

TABLA 6.5.2.

NIVELES DE POTENCIA SONORA BASE PARA VENTILADORES

TIPO	CORRECCION PARA LA FRECUENCIA DE PASO	NIVELES BASE DE POTENCIA SONORA SWL_o							
		CENTROS BANDAS OCTAVA, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
CENTRIFUGO DE ALABES AERODINAMICOS	3	5	5	4	2	1	- 4	-12	-20
CENTRIFUGO DE ALABES CURVADOS HACIA ATRAS	3	5	5	4	2	1	- 4	-12	-20
CENTRIFUGO DE ALABES RADIALES	5-8	18	15	15	13	8	3	0	- 1
CENTRIFUGO DE ALABES CURVADOS HACIA DELANTE	2	10	8	8	4	- 2	- 6	- 9	-15
CENTRIFUGO TUBULAR	4-6	16	13	13	8	7	2	- 2	- 5
AXIAL CON ALETAS DE GUIA	6-8	12	9	11	12	10	7	5	- 5
TUBO AXIAL	6-8	14	12	16	14	12	10	7	0
HELICOIDAL	5-7	21	18	19	17	15	15	13	1

TABLA 6.5.3

CORRECCIONES PARA OBTENER EL ESPECTRO EN BANDAS DE OCTAVA Y VENTILADORES

CENTROS BANDA OCTAVA	CORRECCION DEL NIVEL DE POTENCIA SONORA TOTAL dB							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
CENTRIFUGO:								
ALABES CURVOS HACIA ATRAS.	- 4	- 6	- 9	-11	-13	-16	-19	-22
ALABES CURVOS HACIA DELANTE	- 2	- 6	-13	-18	-19	-22	-25	-30
ALABES RADIALES	- 3	- 5	-11	-12	-15	-20	-23	-26
AXIAL	- 7	- 9	- 7	- 7	- 8	-11	-16	-18
DE PULSO MEZCLADO	0	- 3	- 6	- 6	-10	-15	-21	-27

TABLA 6.5.4

NIVELES POTENCIA SONORA EN dB (A) PARA MOTORES ELECTRICOS

	NACIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION				INTERNATIONAL ELECTRO-TECHNICAL COMMISSION			
POTENCIA	3.600 rpm		1.800 rpm		3.600 rpm		1.800 rpm	
Hp	DPPR	TEPC	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC
1			70	74		86		80
1,5	76	88	70	74		91		83
3	76	91	72	79	97	100	88	87
5	80	91	72	79	97	100	88	91
7,5	80	94	76	84	97	100	88	91
10	84	94	76	84	100	103	92	92
15	84	98	80	89	100	103	92	96
20	87	98	80	89	100	103	92	96
25	87	100	83	92	102	105	94	97
30	90	100	83	92	102	105	94	97
40	90	103	86	97	104	107	97	99
50	94	103	86	97	104	107	97	99
60	94	105	89	100	106	109	100	103
75	98	105	89	100	106	109	100	103
100	98	106	92	102	106	109	100	103
123	102	107	92	102	108	112	103	106
150	102	107	94	104	108	112	103	106
200	105		94	104	108	112	103	106
250	105				110	114	106	109

TEPC : VENTILADOR TOTALMENTE ENCERRADO

DPPR : CON PROTECCION CONTRA GOTEO

TABLA 6.5.5
LIMITES DE NIVEL DE PRESION SONORA dB (A) PROPUESTOS POR EL IEC PARA MOTORES ELECTRICOS (35)

Límites de velocidad (rpm)	Lp dB(A)											
	n < 960		960 < n < 1320		1320 < n < 1900		1900 < n < 2360		2360 < n < 3150		3150 < n < 3750	
Tipo de ventilación	Protegido contra goteo	Totalmente cerrado Refrigerador por ventilador	Protegido contra goteo	Totalmente cerrado Refrigerado por ventilador	Protegido contra goteo	Totalmente cerrado Refrigerado por ventilador	Protegido contra goteo	Totalmente cerrado Refrigerado por ventilador	Protegido contra goteo	Totalmente cerrado Refrigerado por ventilador	Protegido contra goteo	Totalmente cerrado Refrigerado por ventilador
Potencia en kW												
P < 1,1	–	67	–	70	–	71	–	74	–	75	–	77
1,1 < P < 2,2	–	69	–	70	–	73	–	78	–	80	–	82
2,2 < P < 5,5	–	72	–	74	–	77	–	82	–	83	–	85
5,5 < P < 11	72	75	75	78	78	81	81	86	84	87	87	90
11 < P < 22	75	78	78	82	81,5	85,5	83,5	87,5	86,5	90,5	90	93
22 < P < 37	77,5	79,5	80,5	83,5	83	86	85,5	89,5	88,5	92,5	92	95
37 < P < 55	78,5	80,5	82,5	85,5	86	88	88	94	93	96	95,5	98,5
55 < P < 110	82	84	85	89	88,5	91,5	90,5	93,5	92,5	95,5	95	98
110 < P < 220	85	87	87	91	90,5	93,5	93	96	95	98	96	100
220 < P ≤ 400	86	88	89	92	92,5	95,5	94	98	95	99	98	102

TABLA 6.5.6

CORRECCIONES PARA OBTENER EL ESPECTRO EN BANDAS DE OCTAVA PARA MOTORES ELECTRICOS

	CENTROS BANDA OCTAVA							
	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
CF	16	12	8	4	4	8	12	16

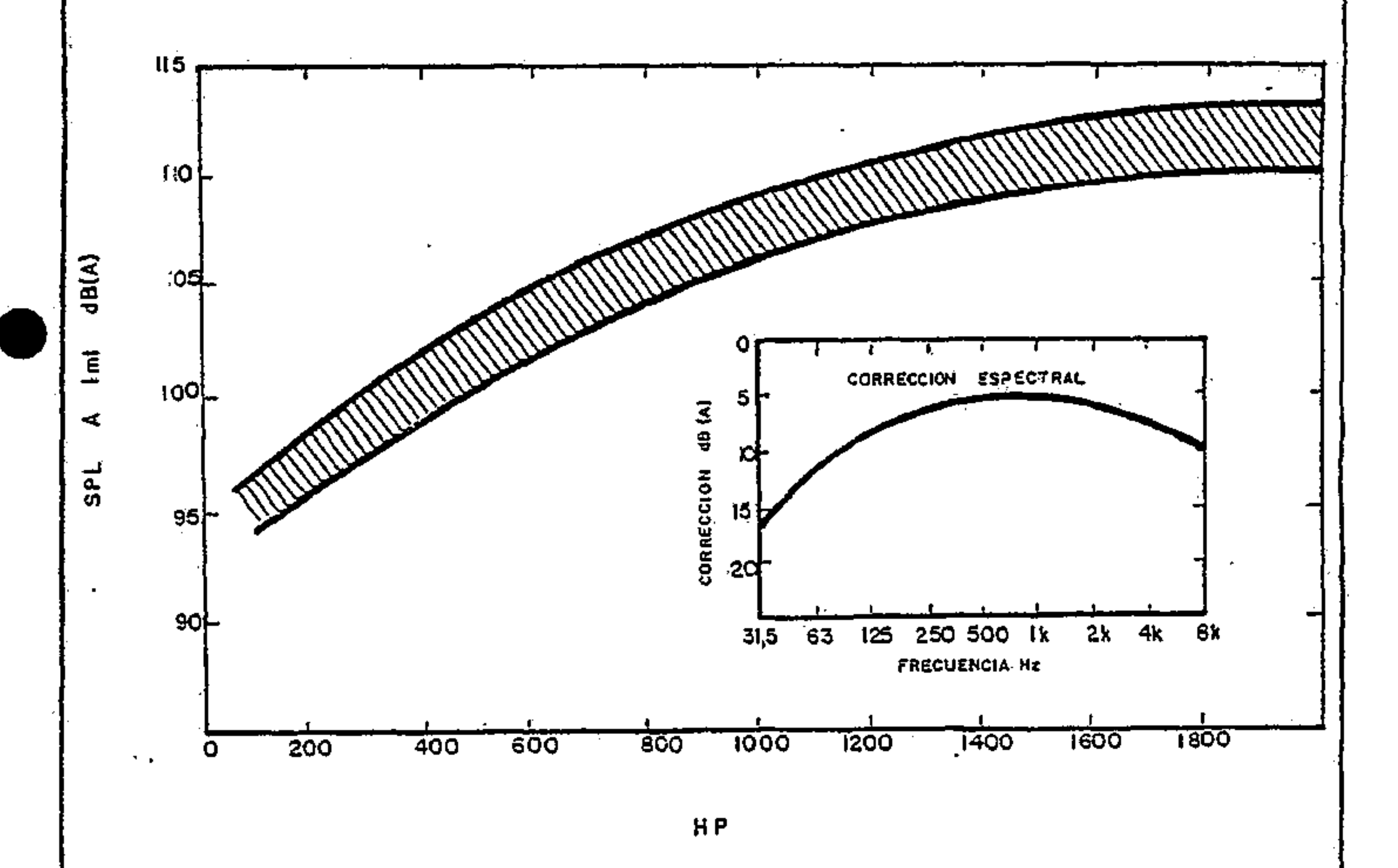


Figura: 6.5.1 Niveles de Presión sonora de motores diesel

5.6. COMPRESORES

Las fuentes de ruido en los compresores son: turbulencia, inestabilidad del flujo, fluctuaciones de la presión, no uniformidad en operaciones mecánicas, etc.

- Compresores centrífugos.

El nivel de potencia sonora total está determinado por:

$$SWL = 20 \log W + 50 \log u - 47 \quad (b)$$

donde

W = potencia, KW
u = velocidad, m/seg.

La frecuencia correspondiente al valor máximo ocurre a:

$$f_o = 4,11\ u$$

El espectro puede obtenerse según: un máximo de nivel en la banda de octava que contiene f_o, 4 dB inferior al nivel calculado por la ecuación b y disminución de 3 dB/octava para frecuencias superiores e inferiores.

- Compresores axiales

El nivel de potencia sonora total está dado por:

$$SWL = 68.5 + 20 \log W$$

correspondiendo el máximo al 2º armonico:

$$f_o = 2\ NW/60$$

donde

W = velocidad, r.p.m.
N = número de alabes

- Compresores tipo root

Para compresores tipo root de 2 lobulos, la expresión del nivel de presión sonora a 1 m es:

$$SPL = 30 \log U + 20 \log S - 6$$

donde

U = velocidad punta, m/seg.
S = área sección transversal, m^2

El espectro es plano hasta 1-2 KHz, decayendo después a razón de 10 dB/octava. Existe tonos puros a la frecuencia de paso de los lobulos y a sus armonicos.

- Compresores recíprocos

Una expresión para el cálculo aproximado del nivel de potencia sonora total es:

$$SWL = 106 + 10 \log W \quad (c)$$

siendo W la potencia, KW

Para definir el espectro se calcula la frecuencia fundamental y el nivel en esa octava es 4 dB inferior al valor obtenido por la ecuación C. Para frecuencias superiores o inferiores decae el nivel a razón de 3 dB/octava.

5.7. VALVULAS DE CONTROL

Las fuentes de ruido más importantes en las valvulas de control son:

- ruido mecánico originado por las vibraciones que producen las fluctuaciones de presión
- ruido hidrodinámico producido por cavitación.
- ruido aerodinámico producido por las turbulencias que se presentan como consecuencia de las contracciones que sufren el flujo al atravesar la válvula. Este ruido es el más importante en las válvulas de control.

Una expresión general para el cálculo del nivel de presión sonora a 1 m., con un error de $\pm$ 4 dB es:

$$SPL = 51 + 10 \log \frac{WF\,(T + 273)}{m}$$

con $$F = 1 - P^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

siendo

W = caudal, Kg/h
T = temperatura del flujo °C
m = peso molecular
P = razón de presiones
γ = índice adiabático

5.8. ESCAPES DE VAPOR

Los escapes de vapor o de aire a presión a la atmósfera constituyen importantes fuentes de ruido. El origen de este ruido es la mezcla turbulenta del gas a alta velocidad y con el aire quieto de la atmósfera.

Un método para el cálculo del nivel de ruido de los escapes se muestra en la Figura 6.5.2 En esta Fi-

gura se presenta la variación, con la relación de presiones a través del orificio de salida de los gases, de la función:

$$SWL - 10 \log (0,5 \, mc^2)$$

donde

SWL = nivel potencia sonora total, dB
m = caudal máximo, Kg/seg.
c = velocidad del sonido en la válvula, m/seg.

El espectro se calcula mediante el grafico de la Figura 6.5.3 con el máximo a la frecuencia dada por:

$$f_p = \frac{S_o c}{D}$$

donde

D = Diámetro del orificio de salida, m
c = velocidad del sonido en la válvula, m/seg.
S_o = número de Strouhal, adimensional, de valor 0,2

5.9. BOMBAS HIDRAULICAS

El ruido en las bombas hidráulicas está generado por cavitación, cambios de presión, desequilibrios mecánicos, etc.

El ruido de las bombas no constituye, en general, una fuente importante de ruido, salvo en el caso de existir un número de ellas. Hay que considerar por otra parte que se puede propagar a través de las conducciones, el ruido producido por la bomba.

En función de los parametros operacionales, el nivel de presión sonora generado por las bombas hidraulicas varía según

17 log potencia mecánica
40 log velocidad (r.p.m.)

La expresión para el cálculo del nivel de potencia sonora total es:

$$SWL = 98 + 10 \log W \left(1 - \frac{E}{2}\right) \quad (d)$$

donde

W = potencia, KW
E = eficiencia de la bomba normalmente 0,5-0,6

El espectro puede suponerse:

- para bombas de potencia inferior a 500 HP, el espectro es llano entre las octavas 150 Hz y 2.400 Hz.

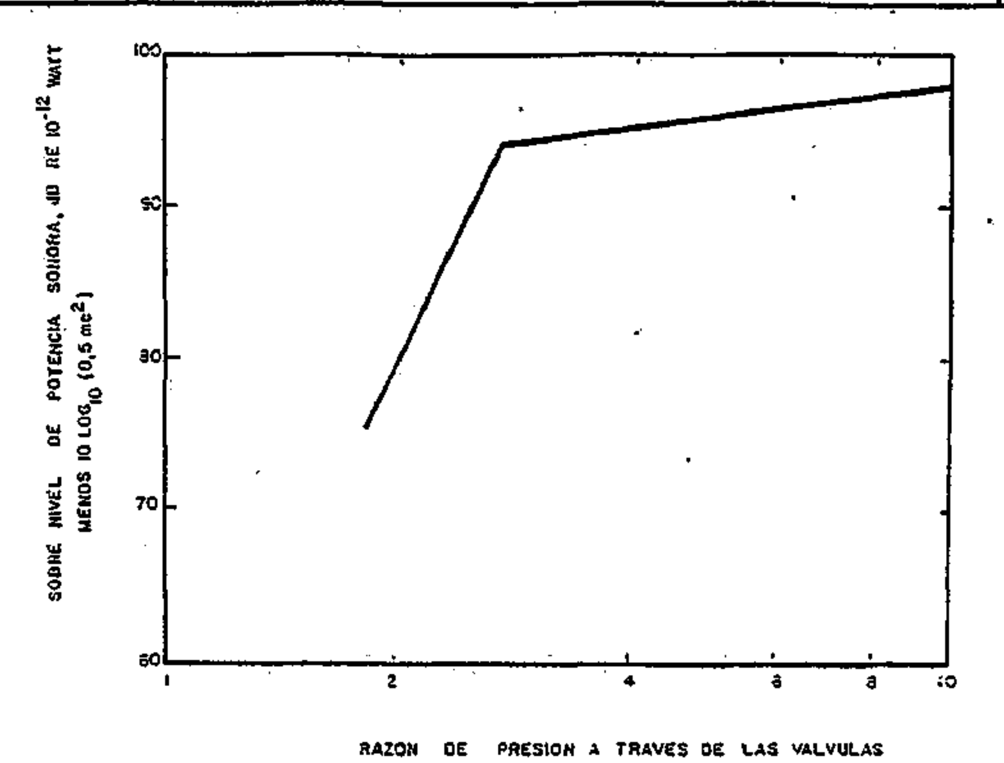


Figura 6.5.2. - Gráfica para el cálculo del nivel de potencia sonora en escapes de gas.

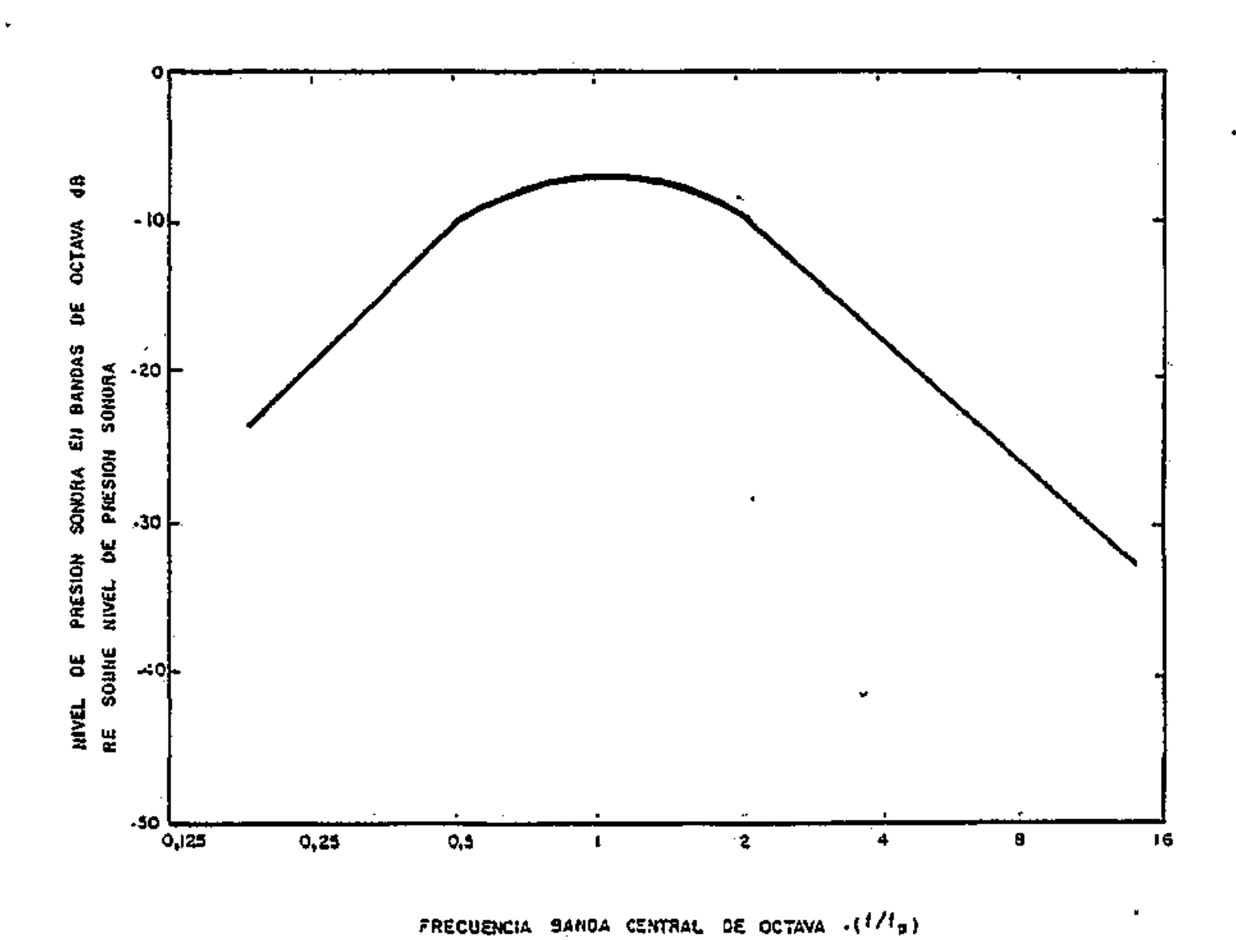


Figura 6.5.3. - Correcciones para el cálculo del espectro en bandas de octava en escapes de gas.

con nivel 7 dB inferior al nivel obtenido en la ecuación 15, decreciendo 6 dB/octava para frecuencias - superiores e inferiores.

- para bombas de potencia igual o superior a 500 HP, en nivel en las octavas 150-300, 300-600 y 600-1.200 Hz, será 5 dB inferior al obtenido por ec. d , decreciendo 6 dB/octava para frecuencias superiores e inferiores.

6.1. INTRODUCCION

El ruido es un producto secundario en numerosos procesos y actividades industriales que, una vez generado, es transmitido a través de un medio elástico (generalmente el aire) hasta alcanzar el receptor. La respuesta de este receptor, considerado individualmente o como parte integrante de una comunidad, señalará los valores límites permisibles de ruido en cada situación particular, e indicará las acciones de control encaminadas a conseguir dichos límites.

El efecto más importante del ruido en el hombre es la pérdida de audición permanente que puede experimentar como consecuencia de exposiciones prolongadas a niveles elevados. La legislación existente en materia de ruido industrial trata de disminuir el riesgo de que se produzca una pérdida de audición en los individuos expuestos a él.

El nivel sonoro límite máximo recomendado internacionalmente es 85-90 dB (A) para exposiciones de ocho horas diarias y cinco días a la semana. Para exposiciones distintas, este valor límite se modifica en ± 3 dB según se reduzca a la mitad o se doble el tiempo de exposición.

Otros efectos del ruido en el hombre son molestia, interferencia con la comunicación hablada, posibles modificaciones en el rendimiento y eficacia, etc.

6.2. ACCIONES DE CONTROL

Los aspectos a considerar en el planteamiento de una acción de control de ruido en una instalación industrial contemplan:

a) Fuente sonora, definida por:

- La potencia sonora que radia al medio que la rodea.
- El espectro sonoro, es decir, la distribución de la potencia sonora emitida en función de la frecuencia.
- La directividad de la fuente.
- La evolución con el tiempo de las características anteriores.

b) Transmisión de las ondas sonoras, comprendiendo:

- Las características del medio en que se propagan las ondas sonoras.
- La absorción acústica de los distintos materiales existentes en el medio.
- La pérdida de transmisión de la energía acústica al cambiar de medio.
- La presencia de obstáculos.

c) Receptor, caracterizado por:

- La sensibilidad del individuo, función del nivel sonoro y de la frecuencia.
- El tiempo de exposición al ruido.

Sobre cada uno de estos elementos se podrá ejercer una acción de control destinada a conseguir una disminución determinada (Fig. 6.6.1).

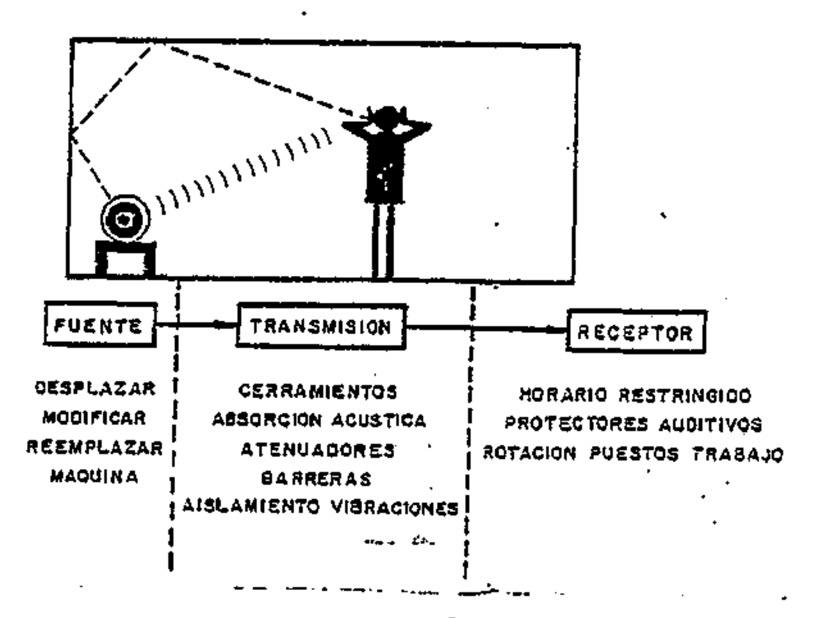


Figura 6.6.1- SISTEMAS DE CONTROL DE RUIDO

Acción sobre la fuente sonora

Siendo este método el más directo para la reducción de los niveles sonoros emitidos por las distintas fuentes, en la práctica es el más difícil de aplicar por la necesidad de conocer los principios físicos y mecánicos de funcionamiento de los diversos elementos que generan el ruido, sus vías de transmisión una vez originados, a través de la estructura de la fuente y, finalmente, las superficies de ésta que lo radian al medio ambiente circundante.

Las soluciones generales de control en la fuente son:

- Reducir las fuerzas de impactos o impulsos.
- Reducir las fuerzas de fricción.
- Incrementar el amortiguamiento.
- Reducir las vibraciones.
- Alterar las frecuencias de resonancia.
- Minimizar el acoplamiento entre las fuentes y las superficies radiantes.
- Eliminar el balanceo de masas.
- Modificar las condiciones aerodinámicas de la fuente sonora.
- Etc.

La complejidad de muchas de estas soluciones hace que esta acción se realice en programas de investigación en ingeniería de diseño.

Otras posibles acciones sobre la fuente sonora, menos complicadas, comprenden el desplazamiento de éstas y/o su reemplazamiento por otras menos ruidosas.

Acción sobre la propagación

Esta solución es quizá la más práctica en la mayoría de las situaciones, siendo, por lo tanto, la más

empleada, independientemente de que se puedan, además, realizar acciones sobre la fuente o sobre el receptor.

Las acciones de control sobre la propagación comprenden:

- Empleo de barreras acústicas.
- Colocación de material absorbente .
- Uso de cerramientos.
- Instalación de atenuadores o silenciadores.

El conocimiento de las características de las fuentes definidas anteriormente y las vías de propagación de las ondas sonoras, permiten hacer predicciones, en la mayor parte de las situaciones, de los niveles sonoros esperados con bastante exactitud y, consecuentemente, ejercer acciones de control aun desde el estado de proyecto, antes de que el problema esté presente.

Acción sobre el receptor.

Esta acción de protección personal incluye:

- Uso de protectores auditivos.
- Horario restrictivo.
- Rotación de los puestos de trabajo.

Las dificultades que pueden originar algunas de estas soluciones, así como la poca aceptación por parte del receptor del uso de los elementos de protección personal aconseja no recurrir a ellas, salvo en casos muy aislados o particulares (en calderería, por ejemplo).

Estas posibles acciones marcan las competencias y responsabilidades de los diversos sectores preocupados en los problemas de control de ruidos. Serán los manufacturadores los responsables de obtener equipos y procesos menos ruidosos mediante las oportunas modificaciones en las fuentes sonoras, incorporación de nuevas tecnologías, etc. La acción en la transmisión será competencia de ingenieros y arquitectos. El control sobre el receptor se empleará como último recurso por los técnicos en seguridad e higiene en el trabajo.

Todas las acciones de control indicadas anteriormente están señaladas de forma esquemática en la figura 6.6.2.

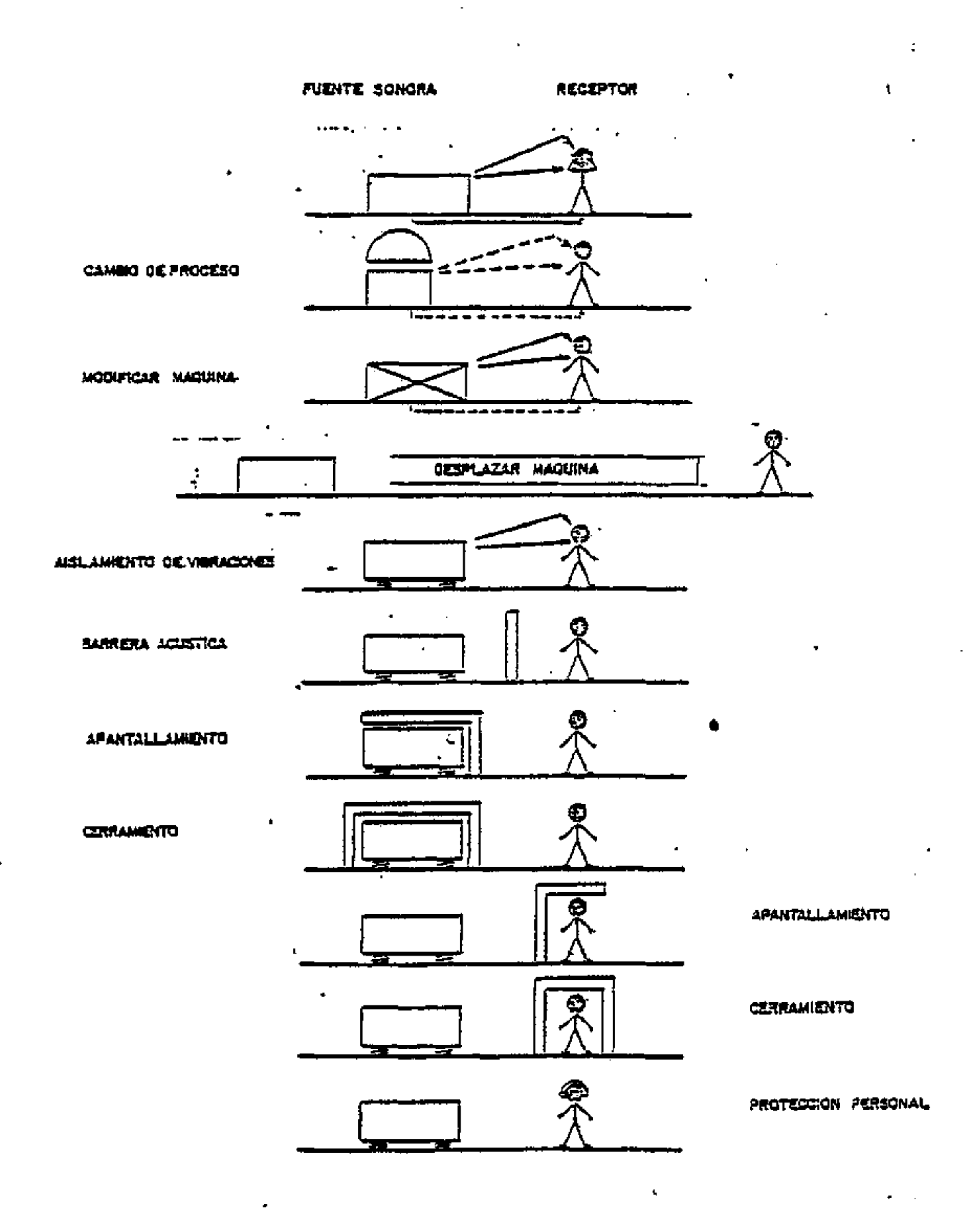


Figura 6.6.2. - METODOS DE CONTROL DE RUIDO

6.3. DESPLAZAMIENTO DE LA FUENTE SONORA.

La forma más sencilla de conseguir una reducción del nivel sonoro existente en un determinado punto es alejar de él la fuente sonora que origina dicho nivel. Sin embargo, esta solución no es factible en muchas situaciones, bien sea por falta de espacio, por razones económicas, etc.

A partir de una cierta distancia a una fuente sonora cualquiera, ésta puede considerarse como puntual y el nivel de presión sonora en condiciones de campo libre, está dado por la expresión:

$$SPL = SWL - DI_\theta - 20 \log r - A - 11 \qquad (1)$$

donde:

SPL = nivel de presión sonora en el punto situado en la dirección θ, a la distancia r de la fuente.
SWL = nivel de potencia sonora de la fuente.

DI_θ = índice de direccionalidad de la fuente (en el caso de no direccionalidad y para radiación hemisférica, $DI_\theta = 3$).

r = distancia del punto considerado a la fuente.

A = atenuación debida a las condiciones ambientales.

$11 = 10 \log. 4\pi$

La ecuación 1 permite establecer la variación de los niveles de presión sonora SPL_1 y SPL_2 en dos puntos situados en la misma dirección y a distancias r_1 y r_2 de la fuente:

$$SPL_2 = SPL_1 - 20 \log. \frac{r_2}{r_1} \qquad (2)$$

Esto representa una variación de 6 decibelios cada vez que se dobla la distancia a la fuente. En la práctica, este valor teórico se ve modificado:

- En espacios abiertos, por las atenuaciones debidas a la vegetación, etc.; consecuentemente, debe esperarse un valor superior al teórico para la variación del nivel de presión sonora con la distancia.
- En recintos cerrados, por las condiciones de contorno; así, la presencia de paredes reflejantes acústicamente da lugar que las ondas sonoras se reflejen sucesivamente, originando que el nivel de presión sonora aumente en puntos alejados de la fuente y que se mantenga prácticamente constante al variar la distancia.

La disminución del nivel de presión sonora con la distancia se aproximará tanto más al valor teórico (6 dB/doble distancia) cuanto mayor sea la absorción acústica existente en el interior del recinto.

6.4. SUSTITUCION DE LAS FUENTES SONORAS

El reemplazamiento de una fuente sonora por otra menos ruidosa es una solución sencilla y efectiva de control de ruido; no obstante, y por razones económicas principalmente, es difícil de realizar en la mayor parte de las situaciones en instalaciones industriales ya existentes.

Sin embargo, en las nuevas instalaciones, esta solución es sencilla de aplicar, ya que en la etapa de diseño se pueden seleccionar los equipos y procesos menos ruidosos.

6.5. BARRERAS ACUSTICAS

Constituyen barreras acústicas aquellas superficies sólidas que se interponen en la marcha de las ondas sonoras impidiendo la propagación de éstas y creando una zona silenciosa llamada "sombra acústica".

La atenuación de una barrera no es función única de sus dimensiones, sino que también depende de las distancias relativas del observador y de la fuente a la barrera.

Una extropolación de la teoría de Fresnel sobre la difracción óptica permite la obtención de una expresión matemática para el cálculo de la atenuación L que presentan las barreras acústicas para fuentes puntuales:

$$L = 20 \log. \frac{\sqrt{2\pi N}}{\mathrm{Th}\sqrt{2\pi N}} + 5 \quad (3)$$

estando el número de Fresnel N definido por :

$$N = \frac{2}{\lambda}(A + B - d) \qquad (4)$$

donde:

λ = longitud de onda del sonido incidente, en m.

d = distancia de la fuente sonora al receptor, en m.

A+B = distancia mínima que recorre la onda sonora desde la fuente al receptor, en m.

La Fig.6.6.3 muestra la representación gráfica de la atenuación L dada por la ecuación 3, en función del número de Fresnel. El límite inferior, aproximadamente 5 dB, se produce para las frecuencias muy bajas donde se presentan efectos de refracción o por la posición del observador, muy próximo a la línea de visión directa de la fuente sonora. El límite superior está determinado por las condiciones ambientales y ha sido experimentalmente establecido en 24 dB.

En el empleo de barreras acústicas debe tenerse en cuenta que:

- En ambientes semireverberantes su efecto sólo es apreciable en zonas próximas a ellas, ya que solamente las ondas directas serán atenuadas, mientras que las ondas reflejadas por las superficies sólidas del recinto se propagarán por la teórica zona de sombra acústica.

- La pérdida de transmisión de la barrera debe ser varios decibelios superior a la atenuación que se espera conseguir, para que su empleo sea efectivo.

- Deben evitarse los acoplamientos entre la fuente sonora y la barrera, para impedir que ésta se transforme en una fuente sonora secundaria, debido a las vibraciones transmitidas.

- Siempre que sea posible, la superficie visible por la fuente sonora deberá estar recubierta por material absorbente acústico, evitándose de esta forma la reflexión de las ondas sonoras.

- Cuando la barrera esté formada por paneles, deberán eliminarse las juntas entre éstos, evitándose así caminos fáciles para la transmisión del sonido con la consiguiente disminución de la efectividad de la barrera.

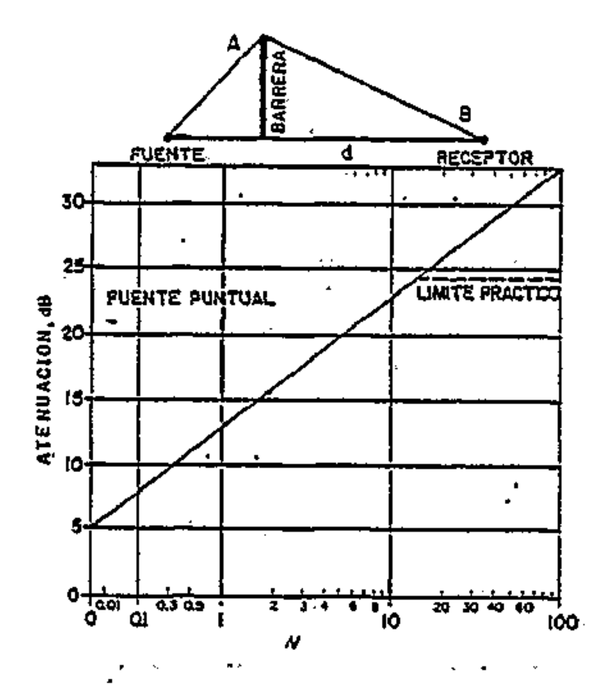


Fig. 6.6.3. Atenuación del sonido de una fuente puntual producida por una barrera rigida en función del número de Fresnel.

6.6. TRATAMIENTO ACUSTICO DE INTERIORES

La propagación del sonido en recintos cerrados se ve modificada por las paredes de éste. Las ondas sonoras, al chocar contra superficies sólidas, pierden parte de su energía, al ser absorbida por los materiales de que están constituidas, y parte es reflejada. En el caso ideal que las paredes fuesen totalmente absorbentes, no existirían ondas reflejadas y la propagación sería como en situación de campo anecoico o libre, es decir, cumpliéndose las ecuaciones (1) y (2). Si, por el contrario, el recinto fuese de paredes totalmente reflejantes, las ondas sonoras sufrirían una serie de reflexiones, produciéndose ecos. En esta situación, el nivel de presión sonora en el interior del recinto se mantiene prácticamente constante con la distancia (salvo en puntos muy próximos a la fuente y a las paredes) y se dice que el campo es reverberante.

En la práctica, las situaciones nunca son totalmente anecoicas o reverberantes, ya que siempre existe una cierta absorción acústica en los recintos. Una fuente de nivel de potencia sonora SWL y direccionalidad Q, en el interior de un cerramiento de superficie S y coeficiente medio de absorción $\bar{\alpha}$, producirá un nivel de presión sono

ra SPL, en un punto situado a una distancia r de la fuente, dado por la ecuación:

$$SPL = SWL + 10 \log \left(\frac{Q}{4 \pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \qquad (5)$$

donde la constante del Cerramiento R es por definición:

$$R = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \qquad (6)$$

con

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_i \, \alpha_i}{S} \qquad (7)$$

siendo:

α_i = coeficiente de absorción del material i.

S_i = superficie interior del recinto ocupada por el material i.

$S = S_1 + S_2 + S_3 + \ldots + S_n$.

Esta ecuación pone de manifiesto la influencia de las condiciones del cerramiento:

- Si la absorción acústica es mínima o nula, es decir, R pequeño, predomina el término 4/R en el paréntesis de la ecuación 5, con lo cual el nivel sonoro en cualquier punto del recinto es constante, independiente de la distancia (condición reverberante).

- Si la absorción acústica es muy grande, R es grande y predomina el término $Q/4\pi r^2$ del paréntesis, con lo cual el nivel de presión sonora disminuye con la distancia (condición anecoica).

- En las situaciones reales, predominarán las condiciones anecoicas o reverberantes, dependiendo de la absorción acústica existente en el recinto.

En la Figura 6.6.4. se presenta esta variación del nivel de presión sonora con la distancia en función de la constante del recinto R.

Por otra parte la ecuación 5 permite predecir la variación del nivel sonoro en un punto situado a una distancia r de la fuente sonora, debido a la adición de materiales absorbentes acústicos en el recinto. Si R_1 y R_2 son las constantes del recinto antes y después de la adición de la absorción, la variación del nivel de presión sonora está dada por:

$$\Delta SPL = 10 \log. \left[\frac{\left(\frac{Q}{4 \pi r^2} + \frac{4}{R_2} \right)}{\left(\frac{Q}{4 \pi r^2} + \frac{4}{R_1} \right)} \right] \qquad (8)$$

Como consecuencia de esta expresión puede observarse que:

- El empleo de materiales absorbentes en superficies interioressólo reduce el nivel sonoro en puntos lejanos a la fuente, donde predomina el campo reverberante. Cerca de ésta el efecto es despreciable, pues predomina

el campo directo.

• En la práctica, con el uso de materiales absorbentes se obtiene una reducción máxima del nivel de presión sonora de aproximadamente 10 dB.

• Cuando existan pocas fuentes sonoras en un recinto reverberante, la adición de absorción acústica podrá ocasionar una apreciable disminución del nivel sonoro, especialmente en puntos alejados de las fuentes.

• En situaciones en las que existan gran número de fuentes sonoras en un recinto, tanto reverberante como con una cierta absorción, la adición de materiales absorbentes no produce, en general, una apreciable disminución del nivel de presión sonora en puntos del recinto, por cuanto en éstos predomina el campo directo al estar próximos a las fuentes de ruido.

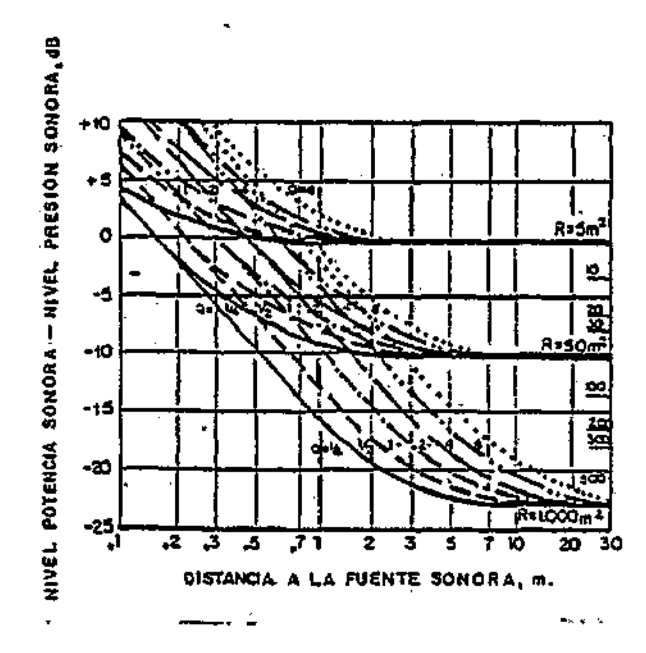


Fig. 6.6.4. Variación del nivel de presión sonora con la distancia a la fuente en interiores para diversas absorciones.

Los diversos materiales empleados como absorbentes acústicos pueden dividirse en:

• Materiales porosos o disipativos.
• Membranas o paneles resonadores.
• Resonadores de Helmholtz o de cavidad.

La magnitud que define la absorción acústica de estos materiales es el coeficiente de absorción α, definido como la relación entre las energías sonoras absorbidas por un material y la incidente en él. Valores de α igual a 1 indican que toda la energía sonora incidente es absorbida, mientras que α=(0)representa que toda la energía es reflejada. La Figura 6.6.5. muestra los coeficientes de absorción típicos para cada uno de estos tres tipos de materiales.

a) Materiales porosos: disipan la energía acústica transformándola en calor en el interior de los orificios que presentan. El máximo de eficacia ocurre a altas frecuencias, donde las longitudes de onda coinciden con los espesores normales de los materiales utilizados. Pertenecen a este tipo de absorbentes la fibra de vidrio, la lana mineral, la espuma de poliuretano, etc.

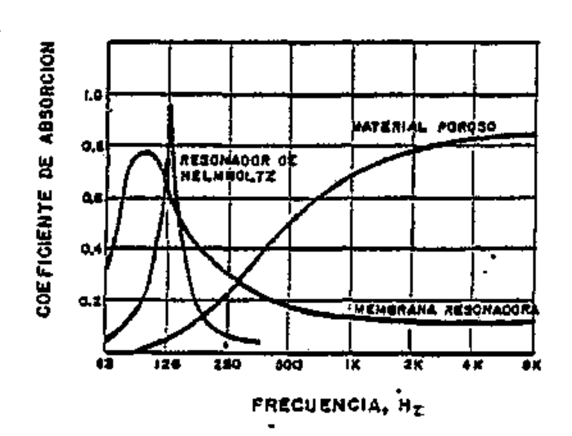


Figura 6.6.5. Curvas de absorción para los distintos tipos de materiales.

b) Membranas resonadoras: convierten la energía sonora en calorífica, como resultado de las deformaciones ondulatorias de un panel al ser excitado por un sonido incidente. El máximo de absorción ocurre en la región de las bajas frecuencias y para la frecuencia de resonancia f_r definida por:

$$f_r = \frac{60}{\sqrt{md}} \qquad (9)$$

donde:

m = masa del panel, en Kg/m^2.
d = espesor de la cámara de aire, en m.

El coeficiente de absorción depende del grado de amortiguamiento del material empleado. Aumentando el amortiguamiento del panel se amplía la banda de frecuencias absorbidas, si bien puede disminuirse el coeficiente de absorción.

Este, por otra parte, puede aumentarse colocando material poroso en el espacio de aire situado detrás de la membrana.

c) Resonadores de Helmholz: la disipación de energía se produce al hacer oscilar las ondas sonoras el aire contenido en pequeñas cavidades. Presentan un coeficiente de absorción muy elevado, pero que se extiende sobre una banda de frecuencias muy estrecha. Este máximo de absorción ocurre a la frecuencia de resonancia f_r dada por la expresión:

$$f_r = \frac{C}{2\pi}\sqrt{S/lV} \qquad 10$$

donde:
C = velocidad del sonido en m/s
S = sección del cuello de la cavidad en m^2
I = longitud del cuello en m.
V = volumen de la cavidad en m^2 (Fig. 6.6.6)

La anchura de banda de las frecuencias absorvidad puede ampliarse colocando material poroso en el interior de la cavidad, pero se disminuye en este caso el coeficiente de absorción del resonador.

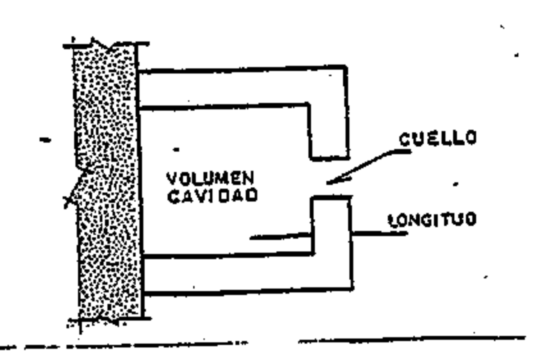


Fig. 6.6.6 Esquema de un resonador de Helmholz

En la tabla 6.6.1 se presentan los coeficientes de absorción para aquellos materiales más usuales. En las figuras 6.6.7 - 6.6.12 se muestran las absorciones que presentan algunos materiales y techos acústicos.

CERRAMIENTOS

Uno de los métodos más empleado para realizar acciones de control de ruido en fuentes sonoras ya instaladas, es el uso de cerramientos acústicos. Como su nombre indica, esta técnica de control consiste en encerrar la fuente sonora mediante una cabina más o menos complicada.

Este método se basa en la pérdida de energía que experimentan las ondas sonoras al cambiar de medio.

Cuando una onda sonora incide en su propagación con una superficie sólida, parte de su energía es reflejada al medio en que se propaga y parte es transmitida al segundo medio.

En el caso de que la superficie sólida tenga un cierto espesor, el efecto será el que se indica en la Fig. 6.6.13 parte de la energía sonora de la onda incidente será reflejada y parte transmitida al existir un cambio de medio (aire-sólido).

La onda transmitida, al propagarse en el medio sólido sufrirá el proceso anterior al pasar nuevamente al aire. Este efecto continuará sucesivamente, y si el campo sonoro en el medio 1 es constante, se alcanzará un equilibrio, pudiéndose definir un coeficiente de Transmisión τ como la relación entre las energías de las ondas transmitidas e incidente:

$$\tau = \frac{E_{transmitida}}{E_{incidente}} \qquad (11)$$

Más interesante que al coeficiente de transmisión como medida del aislamiento acústico de los materiales, es la diferencia entre los niveles de intensidad de las ondas incidente y transmitida. Esta diferencia se llama Pérdida de Transmisión, TL y esta relacionada con el coeficiente de transmisión por la expresión:

$$TL = 10 \log. \frac{1}{\tau} \qquad (12)$$

TABLA 6.6.1

COEFICIENTES DE ABSORCION

MATERIAL	Espesor (cm)	Peso (kg/m^2)	Coeficientes de Absorción (α) 125 (c/s)	250 (c/s)	500 (c/s)	1.000 (c/s)	2.000 (c/s)	4.000 (c/s)
Agua (superficie piscina, por ejemplo)	-	---	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Aire (U.A.)	-	--	0,0	0,0	0,0	0,035	0,07	0,20
Alfombra de moqueta (Vease Moqueta)	-	--	--	--	--	--	--	--
Algodón, tela 465 g/m^2, colgada lisa	-	0,465	0,04	0,07	0,13	0,22	0,32	0,35
Algodón, tela, 465g/m^2, fruncida a 3/4	-	--	0,04	0,23	0,40	0,57	0,53	0,40
Arena húmeda (225 kg. de agua/m^3)	10	--	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15
Arena seca	10	--	0,15	0,35	0,40	0,50	0,55	0,80
Butaca sencilla de madera (U.A.)	-	--	--	0,021	0,026	0,043	0,042	--
Butaca totalmente forrada (U.A.)	-	--	--	0,37	0,33	0,36	0,40	--
Caucho, alfombra	-	--	0,04	0,04	0,07	0,11	0,03	0,01
Contrachapado de madera	-	--	0,11	--	0,12	--	0,10	--
Corcho aglomerado	5,0	--	--	--	0,28	--	0,36	--
Corcho, en general	2,0	5,65	0,12	0,27	0,72	0,79	0,76	0,77
Corcho, gránulos unidos con aglome..	2,5	--	0,12	0,27	0,72	0,90	0,75	0,65
Corcho pavimentos, encera. pulido	2,0	--	0,04	0,03	0,05	0,11	0,07	0,02
Corcho pavimentos, encolado	2,0	--	0,08	0,02	0,08	0,19	0,21	0,22
Enlucido rugoso (guarnecido)	-	--	0,025	0,026	0,06	0,085	0,043	0,056
Espectador sala espectáculos (U.A.)	-	--	0,15	0,23	0,40	0,56	0,64	--
Estera fibra vegetal (véase Fibra)	-	--	--	--	--	--	--	--
Estuco, superficie pulida	1,2	--	0,03	--	0,04	--	0,04	--
Fibra de amianto	5,0	--	--	0,55	0,65	0,75	0,80	0,80
Fibra madera comprimida	5,0	25,0	0,04	0,24	0,54	0,88	0,53	0,70
Fibra madera mineralizada	3,8	19,0	0,10	0,19	0,40	0,79	0,55	0,77
Fibra vegetal, estera	-	--	0,08	--	0,17	--	0,30	--
Fibra de vidrio	4,0	--	0,20	0,35	0,65	0,80	0,75	0,65
Fibra de vidrio	5,0	--	0,38	0,63	0,78	0,87	0,83	0,77
Fibra de vidrio	6,0	--	--	--	0,85	--	--	--
Fibra de vidrio	10,0	--	0,75	0,96	0,96	0,90	0,84	0,74
Fibra de vidrio afieltrado	5,0	2,35	0,41	0,60	0,99	0,99	0,84	0,81
Fieltro ligero	1,2	--	0,02	0,04	0,10	0,21	0,57	0,92
Grava, suelo, flojo y humedo	-	--	0,25	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
Hormigón, bloques								
Hormigón enlucido	-	--	0,004	0,004	0,005	0,006	0,008	0,015
Hormigón normal	-	--	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Hormigón pintado	-	--	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo, miro con enlucido de yeso.	-	--	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
Ladrillo, muro visto	-	--	0,024	0,025	0,032	0,042	0,05	0,07
Ladrillo pintado	-	--	0,012	0,014	0,017	0,02	0,023	0,025
Lana mineral, a granel	2,5	--	0,06	0,19	0,39	0,54	0,60	0,75

../...

TABLA 6.6.1 (continuación).

MATERIAL	Espesor (cm)	Peso (kg/m²)	Coeficientes de Absorción (α) 125 (c/s)	250 (c/s)	500 (c/s)	1.000 (c/s)	2.000 (c/s)	4.000 (c/s)
Lana mineral a granel	10	--	0,42	0,66	0,73	0,74	0,76	0,80
Linóleo	0,65	--	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Madera barnizada	-,	--	0,05	--	0,03	--	0,03	--
Madera ordinaria	2,5	---	--	0,16	0,13	0,10	0,06	0,06
Mármol	-	--	0,01	0,01	0,01	--	0,02	--
MOQUETA, 8 mm................	0,8	2,0	0,13	0,06	0,13	0,20	0,46	0,70
MOQUETA, 9 mm................	0,9	1,9	0,12	0,10	0,18	0,20	0,46	0,72
MOQUETA, 13 mm	1,3	2,5	0,12	0,10	0,20	0,30	0,64	0,93
Parquet.........................	1,5	--	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Piedra (igual que hormigón)	-	--	--	---	--	--	--	--
Revoco cal-arena	2,0	--	0,04	0,05	0,06	0,03	0,04	0,06
Teciópelo, colgado, liso, en contacto con la pared	-	0,6	0,05	0,12	0,35	0,45	0,38	0,36
Terciopelo, fruncido a 1/2(2m²/m²) ..	-	1,2	0,07	0,31	0,49	0,81	0,60	0,54
Ventana abierta	-	--	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Vidrio, láminas	0,3-0,5	--	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Yeso, enlucido liso	--	--	0,024	0,027	0,03	0,037	0,019	0,034
Yeso, guarnecido	--	--	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06	0,03

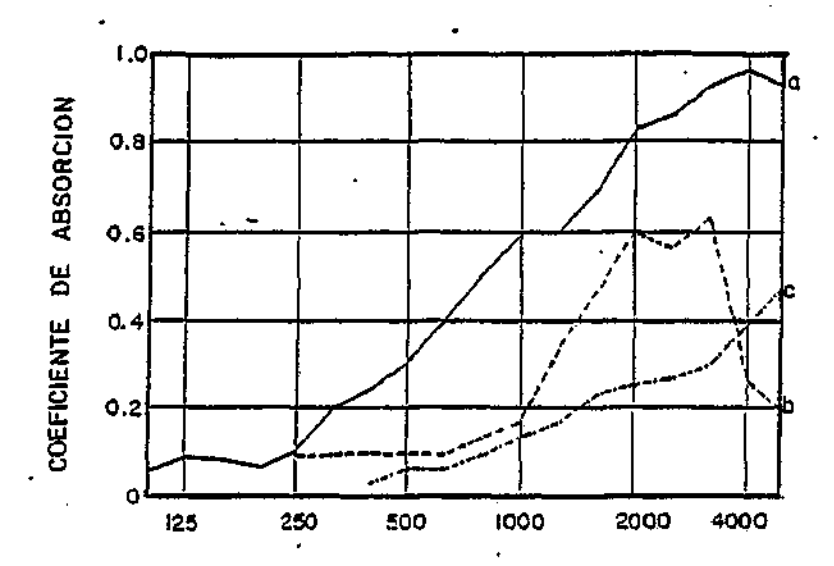


Fig. 6.6.7 Materiales porosos
a: Filtro sintetico (16 mm de espesor)
b: Baldosas a base de aglomerado de grava (30 mm.)
c: Terciopelo sintetico (flocado de 3 mm.)

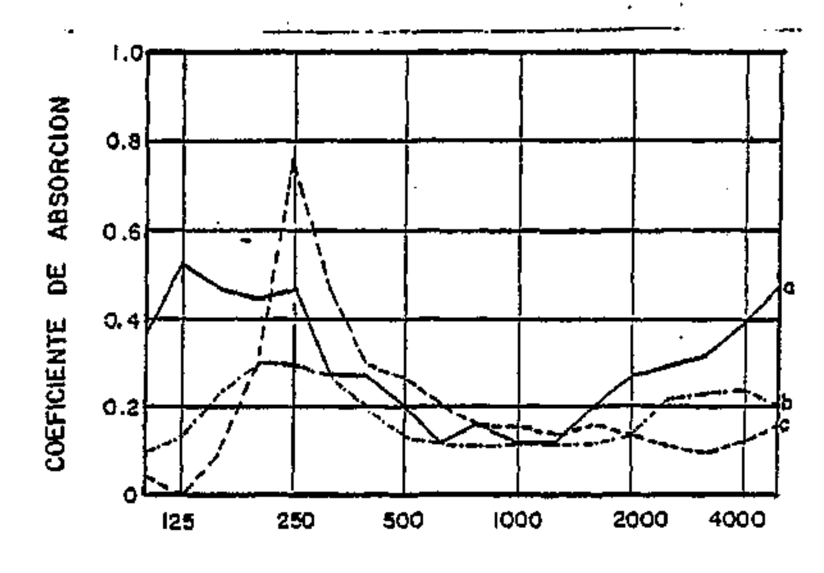


Fig. 6.6.8 Absorbentes acústicos por resonancia:

a: Menbrana a base de corcho aglomerado (20 mm. espesor)
b: Membrana de placa de Styropor (20 mm.)
c: Resonador tipo Bekesy (10 mm. de fieltro con cubierta plastica) cámara de aire de 25 cm. en los tres casos.

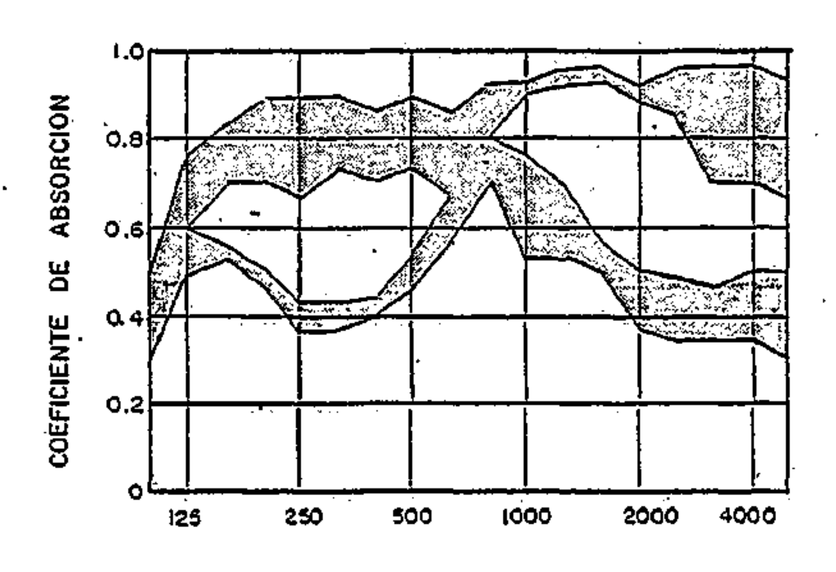


Fig.- 6.6.9 Techos acústicos a base de fibras minerales de rigidez media. Cámara de aire de 25 cm. Resultados correspondientes a nueve techos.

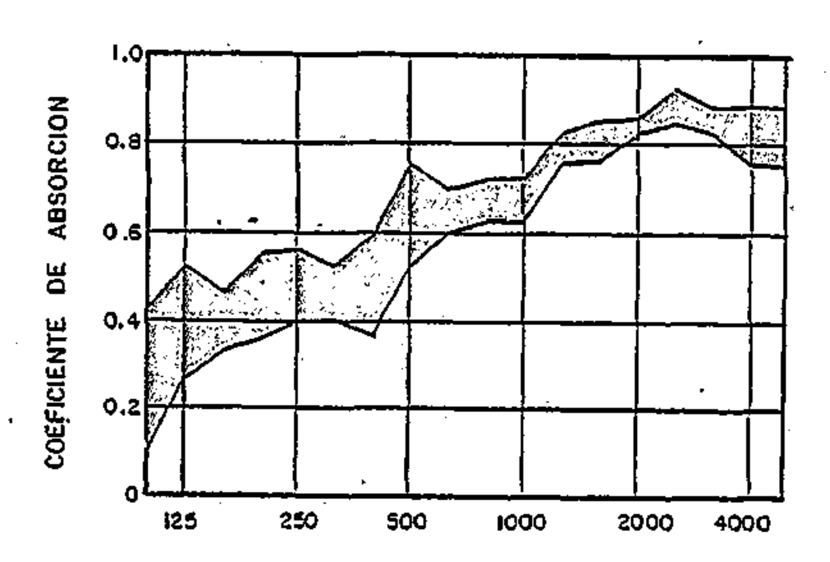


Fig.- 6.6.10 Techos acústicos a base de fibras minerales de gran rigidez. Cámara de aire de 25 cm. Resultados correspondientes à cinco techos.

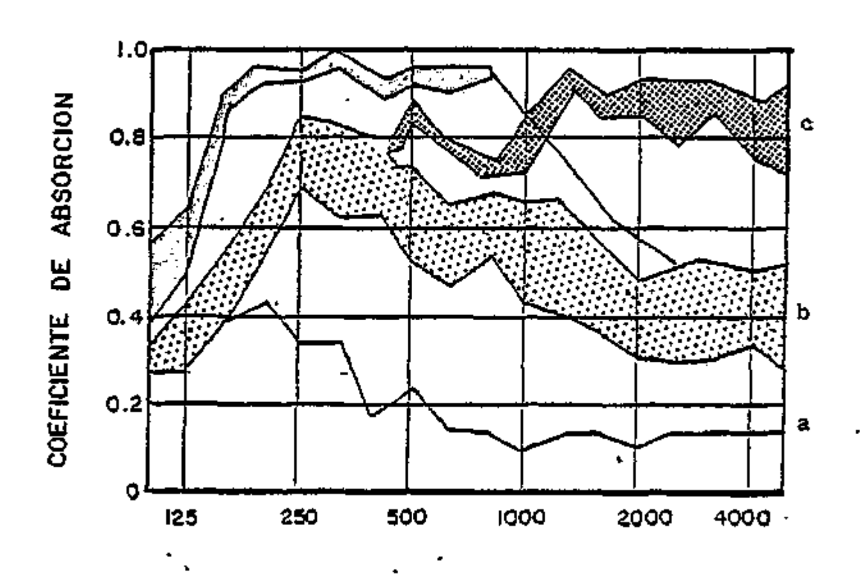


Fig.- 6.6.11 Techos acústico metalicos. Cámara de aire de 25 cm.. Resultados crrespondientes a catorce techos
a = Sin ranuras ni perforaciones
b = Con ranuras
c = Con ranuras y perforaciones

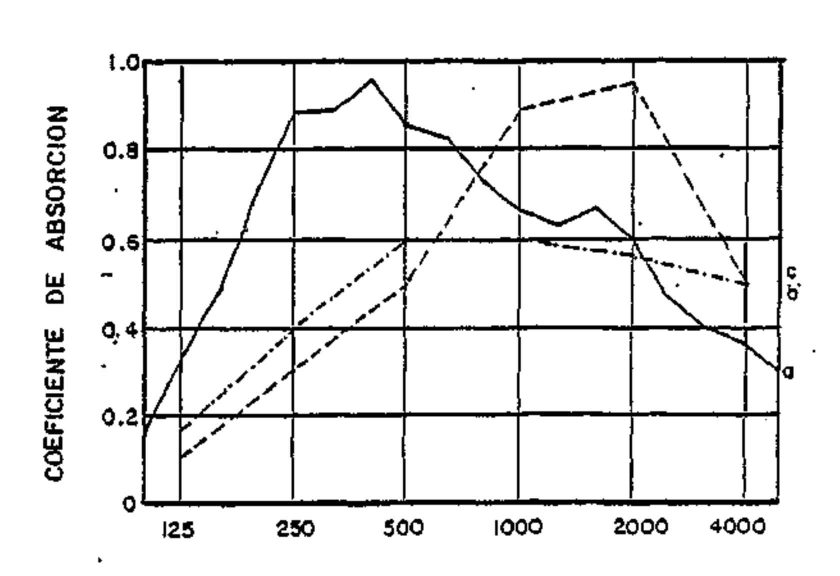


Fig.- 6.6.12 Techos acústicos a base de losetas de escayola Cámara de aire de 10 cm.
a = Insonor
b = Soundex
c = Echo top

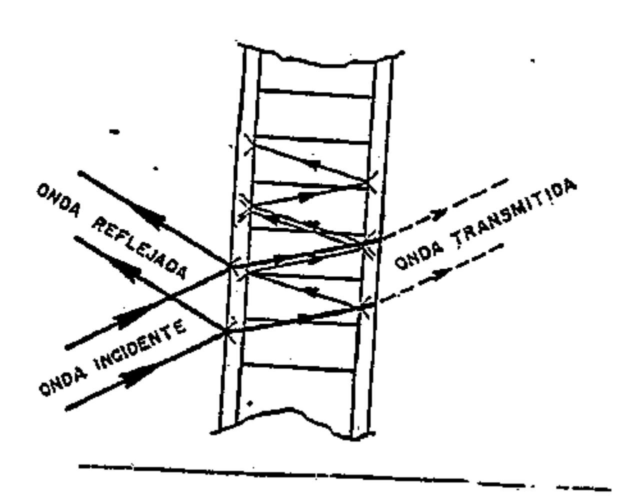


Fig. 6.6.13 Transmision de ondas sonoras a traves de un medio homogéneo.

Particiones simples

Una partición simple la constituye una lámina homogénea que separa dos medios.

Un esquema de la variación de la pérdida de transmisión con la frecuencia para este tipo de particiones se presenta en la Figura 6.6.14 . Pueden distinguirse tres zona:

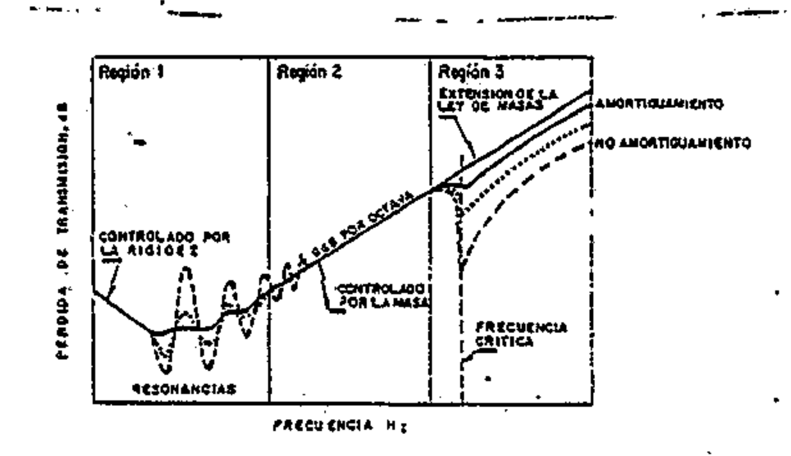


Fig. 6.6.14 Variación de la perdida de transmision con la frecuencia

a) Región 1: está controlada por la rigidez del panel, que origina que éste se comporte como una membrana, presentando una serie de frecuencias naturales de resonancia para las cuales disminuye las pérdidas de transmisión.

b) Región 2: el movimiento del panel está controlado por la masa del mismo. Matemáticamente la pérdida de transmisión en esta región puede calcularse, para una incidencia normal de las ondas sonoras, mediante la expresión:

$$TL = 10 \log. \left[1 + \left(\frac{mw}{2 \rho_o \ c.} \right)^2 \right] \qquad (13)$$

donde:

m = masa superficial del panel, en kg/m^2.
W = $2\pi f$, siendo f la frecuencia de la onda incidente, en rad/s.
ρ_0 = densidad del aire, en kg/m^3
c = velocidad del sonido en el aire, en m/s.

Aproximadamente, esta última ecuación puede simplificarse a:

$$TL = 20 \log mf - 43 \qquad (14)$$

De estas ecuaciones se deduce que:
- La pérdida de transmisión aumenta 6 dB por octava
- La pérdida de transmisión aumenta 6 dB al duplicarse la masa superficial del panel. Esto se conoce por la Ley de Masa. Una representación de esta ley está dada en la figura 6.6.15, donde se muestra la pérdida de transmisión media de un panel en función de la masa superficial de éste. Los valores de las pérdidas de transmisión para incidencia normal, TL_o (ecuación 13), y para campo difuso, TL_d, están relacionadas mediante la expresión:

$$TL_d = TL_o - 10 \log (0,23\ TL_o) \qquad (15)$$

En la Figura 6.6.16 se presentan las graficas de los valores de la perdida por transmisión para incidencias de las ondas sonoras normal, difusa y práctica en función de la masa superficial y la frecuencia.

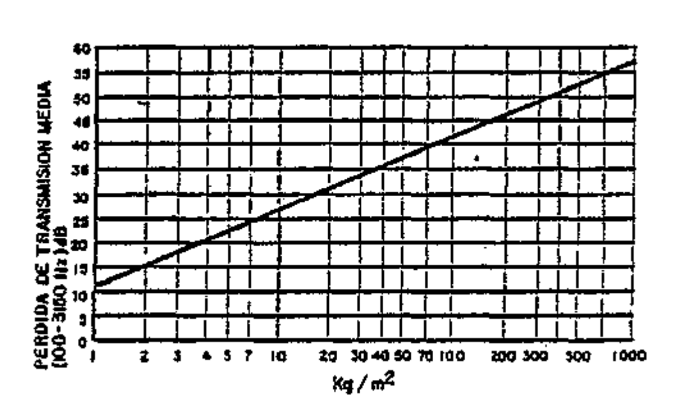


Fig. 6.6.15 Grafica de la variación de la perdida de transmisión en funcion de la masa superficial.

c) Región 3: está controlada por la rigidez y el amortiguamiento del panel, presentando una disminución de la pérdida de transmisión apreciable debido al efecto de coincidencia. Este efecto tiene lugar cuando la proyección de la longitud de onda del sonido incidente es igual a la longitud de onda de la onda libre de flexión a lo largo del panel, (Fig. 6.6.17). La frecuencia en que se presenta el efecto de coincidencia se llama frecuencia crítica f_c y puede calcularse mediante la ecuación:

$$f_c = \frac{c^2}{1,8e} \cdot \sqrt{\rho/E} \qquad (16)$$

donde:

c = velocidad del sonido en el aire, en m/s

e = espesor del panel en m.

ρ = densidad del panel, en kg/m^3

E = módulo de Young del panel, en N/m^2.

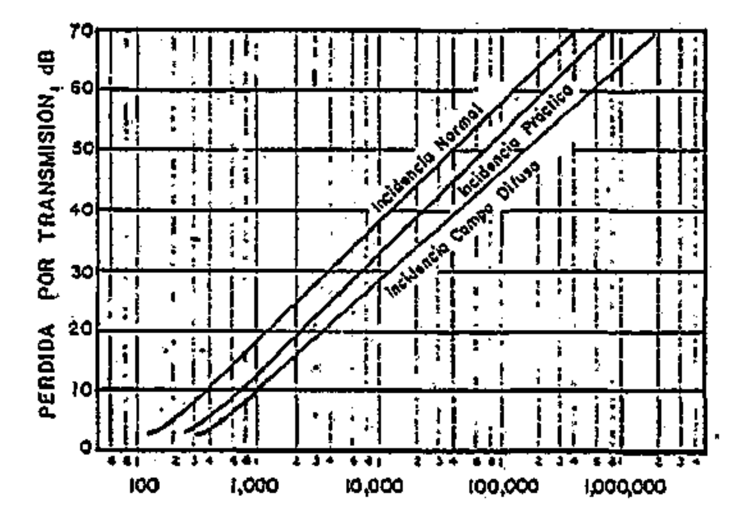


Fig. 6.6.16 Valores teóricos de la ley de masa.

Los valores de la frecuencia critica para diversos meteriales estan dados en la Tabla 6.6.2 y en las figuras 6.6.18 a 6.6.20.

Particiones dobles

Las particiones dobles están constituidas por dos láminas paralelas separadas por una cavidad de aire. Las láminas pueden ser de materiales iguales o diferentes y del mismo o distinto espesor. En ocasiones la cavidad está ocupada por un material absorbente acústico.

En el caso límite es decir cuando la cavidad tiene un espesor suficientemente grande, las dos láminas actuan independientemente y el aislamiento acústico total es la suma de las pérdidas por transmisión individuales.

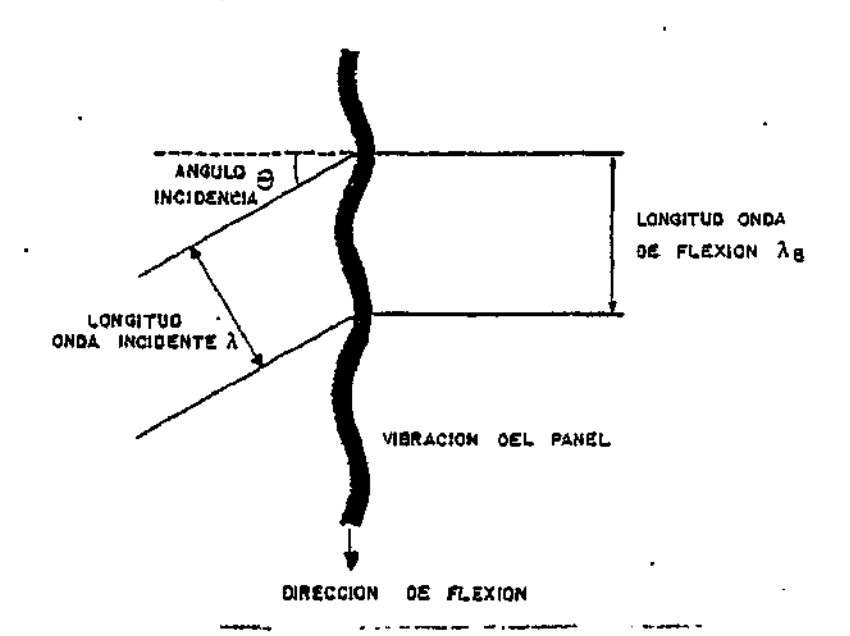


Fig. 6.6.17 Incidencia oblicua de ondas sonoras sobre una partición flexible.

TABLA 6.6.2

FRECUENCIAS CRITICAS Y DENSIDAD SUPERFICIALES PARA DIVERSOS MATERIALES

Material	Frecuencia crítica y densidad superficial Hz x kg m^{-2}	Densidad superficial Por unidad de espesor kg. m^{-2} mm^{-1}
Plomo	600.000	11.2
Acero	97.000	8.1
Hormigón armado	44.000	2.3
Muro ladrillo	42.000	1.9
Vidrio	39.000	2.5
Perspex	35.500	1.15
Lámina fibrocemento	33.600	1.9
Aluminio	37.200	2.7
Lámina escayola	32.000	0.75
Contrachapado	13.000	0.58

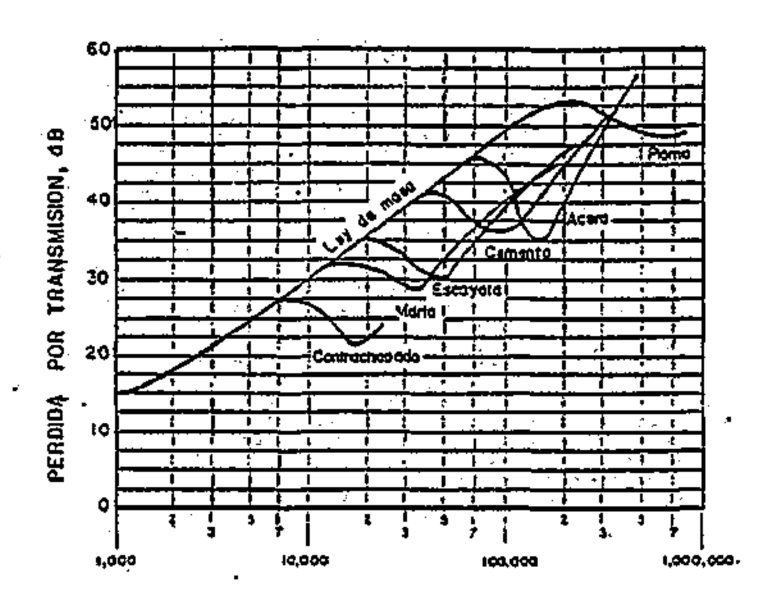


Fig.- 6.6.18. Pérdida por transmisión para diversos meteriales.

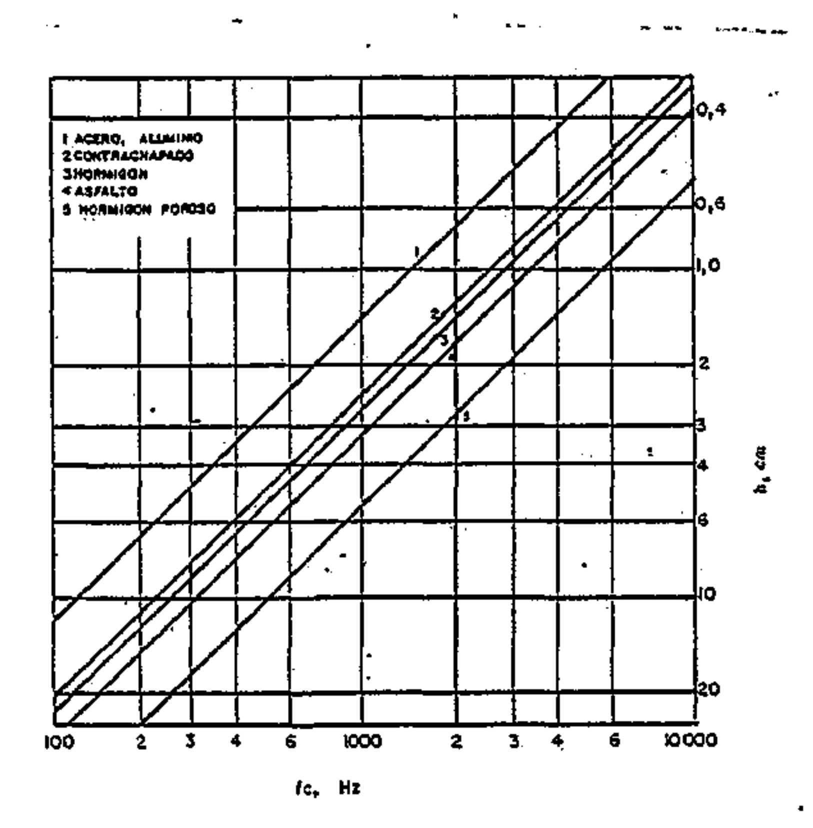


Fig.- 6.6.19 Frecuencia crítica de algunos materiales.

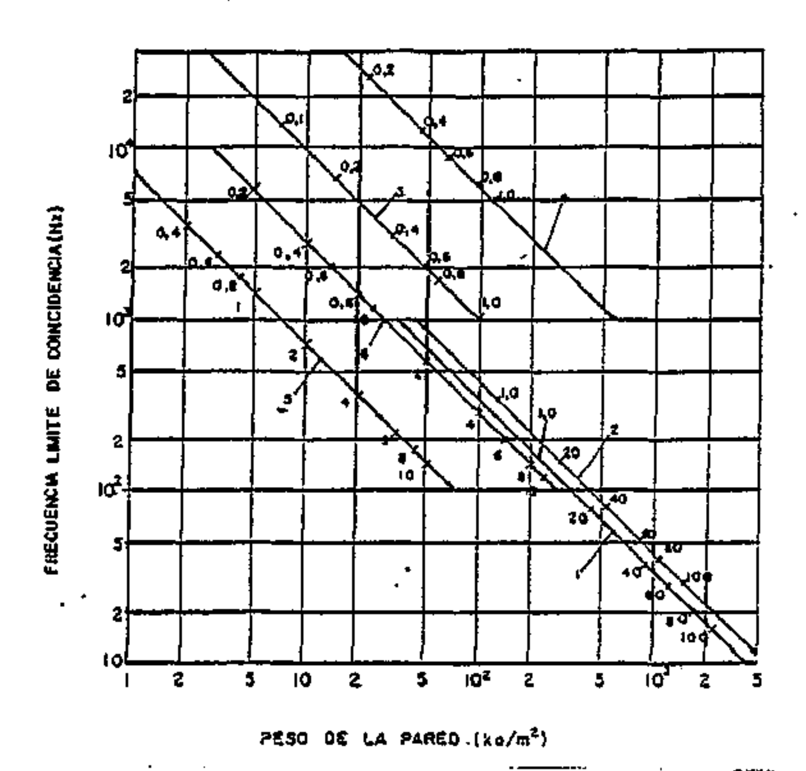


Fig. 6.6.20: Frecuencia crítica en función del peso:
1) hormigón; 2) ladrillo; 3) acero; 4) plomo;
5) madera contrachapada; 6) vidrio.

En la Figura 6.6.21 se presenta la variación con la frecuencia de la pérdida por transmisión ofrecida por una partición doble.

Una expresión empírica de la pérdida por transmisión media de una partición está dada por:

$$(TL)_{EMP} = 20 \log. Md + 34$$

Consideraciones prácticas

En la Tabla 6.6.3 se indican los valores de la pérdida por transmisión para diversos materiales de uso habitual. La Figura 6.6.22 muestra la atenuación ofrecida por materiales porosos.

En el empleo de diseño de cerramientos acústicos debe considerarse:

- Debe entenderse como cerramientos y cabinas tanto aquellas instalaciones que evitan que el ruido producido por una fuente se radie al medio entorno a ella, como aquellas otras que son colocadas en un medio ruidoso a fin de obtener un área con menor nivel sonoro. Pueden incluirse en este último punto los tabiques en edificación, techos, etc.

- La pérdida de transmisión es función de la frecuencia; las bajas frecuencias se transmiten más facilmente que las altas. Consecuentemente, el rendimiento de un material sólo está bien definido conociendo la perdida de transmisión en función de la frecuencia. Sin embargo, el valor medio puede ser estimativo, y como tal debe ser considerado.

- La perdida de transmisión depende del ángulo de incidencia de las ondas sonoras. A efectos prácticos deben considerarse los valores de TL de campo difuso, por presentarse éste en la mayoría de las situaciones.

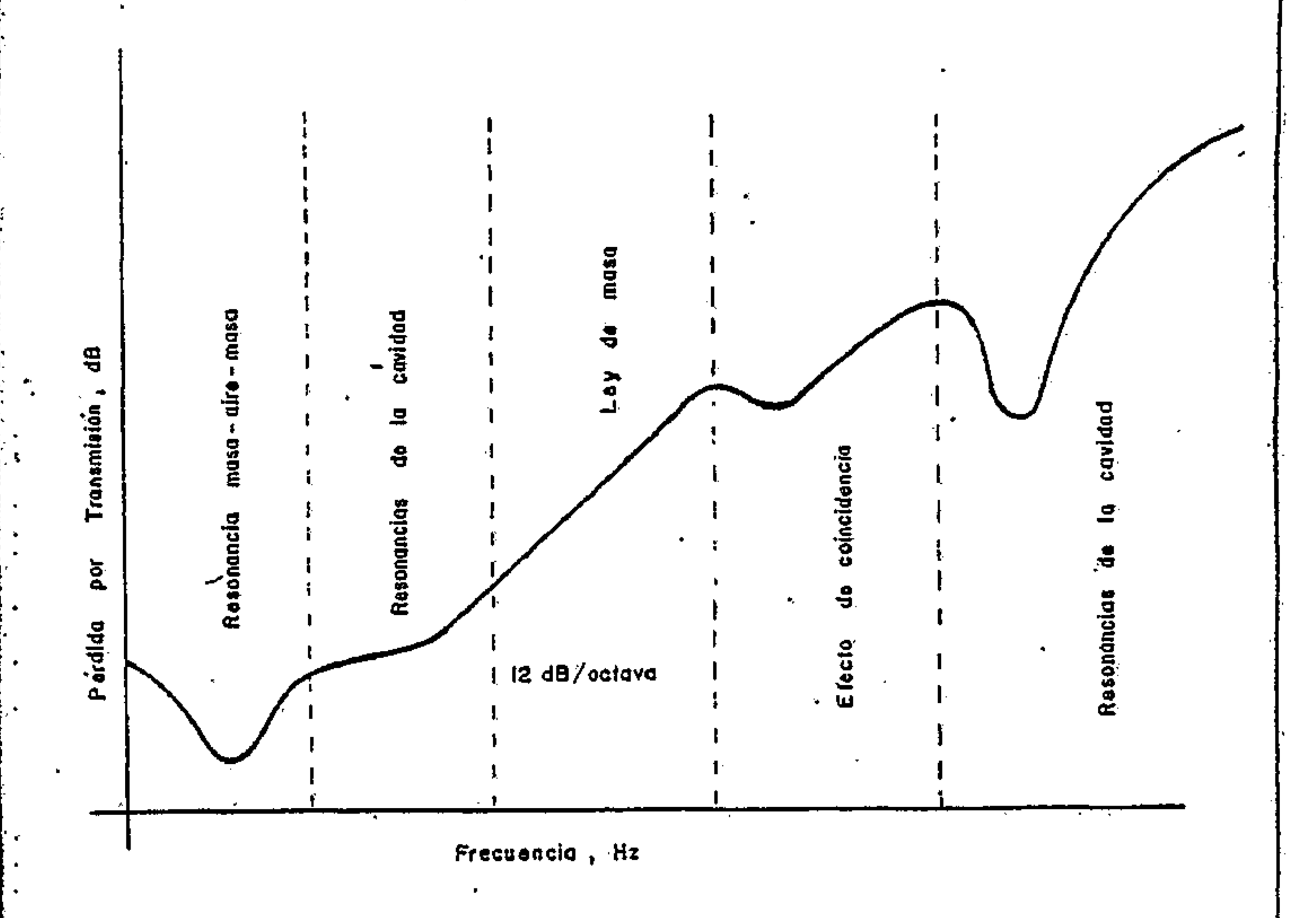


Figura 6.6.21 Variación de la pérdida por transmisión con la fracuencia para una partición doble.

TABLA 6.6.3

PERDIDAS POR TRANSMISION

Material	$\overline{TL}$ (db)	Espesor. (cm)	Peso (kg/m^2)	Pérdidas de transmisión 125 (c/s)	250 (c/s)	500 (c/s)	1000 (c/s)	2000 (c/s)	4000 (c/s)
Aluminio, lámina	18	0,063	-	--	18	13	18	23	25
Bloques hormigón 10 cm	45	10,0	-	31	39	43	47	54	50
Bloque hormigón 20 cm	55	20,0	-	39	52	53	57	58	50
Bloque vidrio(ver V. bloque)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fibra de vidrio	30	5,0	26	27	23	27	34	39	41
Fibrocemento (Uralita)ondulada	34	-	34	33	31	33	33	42	39
Hormigón 10 cm. doble revoco	46	10,0	235	34	39	44	49	54	59
Hormigón 15 cm doble revoco	48	15,0	352	36	41	46	51	56	61
Hormigón 20 cm doble revoco	50	20,0	470	38	43	48	53	58	63
Hormigón 30 cm. doble revoco	54	30,0	704	42	47	52	57	62	67
Hormigón celular guarnecido una cara	46	-	220	24	35	47	56	55	-
Hormigón de clinker	23	7,6	83	17	18	22	30	40	-
Hormigón de clinker, guarnecido	44	7,6	147	27	32	40	52	58	-
Hormigón sin finos, guarnecido	45	10,0	-	-	-	-	-	-	-
Hormigón sin finos, guarnecido	50	33,0	-	-	-	-	-	-	-
Hormigón de viruta(madera), guarnecido dos caras	33	9,0	78	31	25	31	32	41	42
Ladrillo, hueco sencillo, tabique guarnecido enluc. ambas caras	22	5,0	50	-	-	-	-	-	-
Ladrillo macizo, muro 1/2 pie guarnecido ambas caras	45	12,0	160	-	40	37	49	59	59
Ladrillo macizo, muro 1 pie guarnecido ambas caras	51	25,0	480	-	48	49	57	59	-
Ladrillo macizo, muro 1 1/2 pie guarnecido	57	38,0	730	-	-	57	-	-	-
Ladrillo tabicón	11	10,0	70	8	5	9	14	19	17
Ladrillo, tabicón, doble guarnecido	38	13,0	-	31	31	36	47	50	58
Madera, 6 cm (pino)	32	2,5	-	27	31	33	35	37	40
Madera, contrachapado 8 mm	23	0,8	-	15	21	21	26	26	22
Madera de roble, 4,5 cm	18	4,5	4,5	11,5	15	20,5	22	16	-
Madera roble, muy húmeda	32	4,5	-	20	19	23	26	52	-
Palastro	27	0,076	-	-	25	20	29	35	32
Piedra, 30 cm	59	30,0	-	47	51	57	61	67	71
Plástico, 2 hojas de 3mm, separadas 2,5 cm x tira 3mm ancho	22	2,5	11,7	15	19	22	26	27	-
Plomo, hoja de 3,2 mm	32	0,32	40	-	31	27	38	44	33
Suelo losa hormigón armado									

../...

TABLA 6.6.3 (Continuación)

PERDIDAS POR TRANSMISION

Material	TL (db)	Espesor. (cm)	Peso (kg/m^2)	125 (c/s)	250 (c/s)	500 (c/s)	1000 (c/s)	2000 (c/s)	4000 (c/s)
				Perdidas de transmisión (db)					
Suelo, losa hormigón armado 10 cm + pavim. horm. asfáltico 3 cm.	51	13, 0.	312	38	40	49	56	66	72
TABLEX, 2 hojas 13mm, sobre marco de madera	20	-	-	-	-	-	-	-	-
Terciopelo forrado, 610 g/cm^2	11	-	0, 61	8, 5	9, 0	10, 0	12, 5	12,	12, 5
Vidrio 3mm	29	0, 3	-	-	26	27	31	33	29
Vidrio, 6 mm	32	0, 6	-	-	32	30	33	34	-
Vidrio, luna pulida 6 mm	24	0, 6	-	23	21	26, 5	27, 5	23	-
Vidrio, bloques	43	10, 0	-	30	35	40	49	49	43
Yeso, 5 capas plaster-boad 10mm	32	5, 0	39	25	30	32	34	39	-
Yeso, 5 capas paster-board 20mm enlucido	34	10, 0	64	29	32	31	42	50	-
Yeso panel 4 capas de 1, 3 cm	37	5, 2	43, 5	28	32	34	40	38	49
Yeso, plaster-board, 10 mm	27	1, 0	9, 3	16	20	27	34	31	-
ELEMENTOS COMPUESTOS									
Hormigón 4 cm. con recubrimiento de lana de vidrio en ambas caras (1, 5 + 1, 5 cm) + guarnecido con yeso (2, 5 cm)	49	10, 0	220	25	34	43	55	63	71
Hormigón 20 cm + 2, 5 cm lana de vidrio + 12 cm de aire + 2, 5 cm lana de vidrio + ladrillo medio pie	80	50	650	63	72	74	85	91	93
Hormigón de clinker, 2 hojas de 7, 5 cm. con 7, 5 cm. de cámara de aire, Guarnecido	50	-	-	-	-	-	-	-	-
Hormigón ligero 7 cm + revoco + + 2 cm lana de vidrio + 3 cm aire + 5 cm hormigón ligero + + revoco	44	20	-	24	33	41	50	60	65
Ladrillo medio pie + revoco + + 2, 5 cm lana de vodrio + 4 cm de aire + 2, 5 cn lana de vidrio + 7 cm hormigón clinker	61	30	350	40	54	57	65	70	76
Ladrillo un pie + 5 cm lana de vidrio + 12 cm espacio de aire + + ladrillo un pie + revoco	102	70	1000	80	90	98	109	111	111
Ladrillo 2 muros de hueco, separados 5 cm con manta absorbente de 2 cm. Revoco	49	22	170	-	49	46	46	57	-

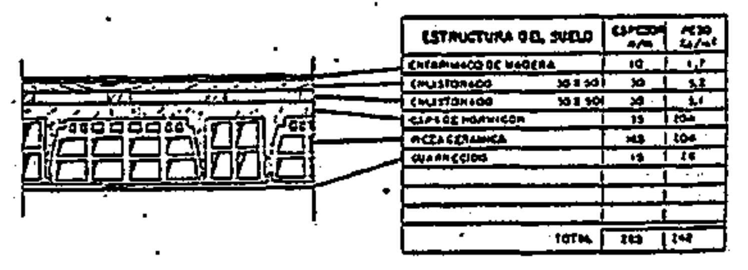
TABLA 6.6.3 (continuación II)

Material	TL (db)	Espesor (cm)	Peso (kg/m^2)	Perdidas de transmisión (db) 125 (c/s)	250 (c/s)	500 (c/s)	1000 (c/s)	2000 (c/s)	4000 (c/s)
Ladrillo 2 tabiques de hueco sencillo + 2,5 cm de fibra + 2 cm camara de aire	52	16	244	-	55	51	51	66	73
Muro compuesto núm. 1	41	14,2	147	24	35	39	45	47	50
Muro compuesto núm. 2	43	18,5	168	30	37	43	45	46	56
Muro compuesto núm. 3	47	22	191,6	30	40	46	50	53	57
Muro compuesto núm. 4	49	22,5	200	44	46	47	51	53	56
Muro compuesto núm. 5	48	20	194	35	41	47	50	54	55
Muro compuesto núm. 6	48	14	47	36	40	46	52	57	58
Muro compuesto núm. 7	53	18,5	156	40	47	51	56	59	60
Muro compuesto núm. 8	55	44	470	50	52	54	56	57	59
Muro compuesto núm. 1	26	28	242	31	24	23	27	29	36
Muro compuesto núm. 2	44	24	251	35	36	38	46	54	63
Muro compuesto núm. 3	41	28	242	32	34	37	45	48	49
Muro compuesto núm. 4	40	37	396	31	32	36	44	48	53
Muro compuesto núm. 5	36	28	396	31	32	36	44	48	53
Muro compuesto núm. 6	45	44	369	35	35	39	48	58	66
Yeso tabique cañizo y yeso 4 cm + 2 cm lana de vidrio + 4 cm aire + 4 cm cañizo + enlucido yeso	41	15	-	20	30	36	46	52	57
PUERTAS Y VENTANAS									
Puerta acero, con relleno arena, hermética	45	-	260	-	-	-	-	-	-
Puerta acero, doble, con relleno arena, hermética.	56	-	260	-	-	-	-	-	-
Puerta acero, sencilla 6mm	35	0,6	-	25	27	31	36	32	-
Puerta doble 50mm, separado 110 mm	55	21	-	-	-	-	-	-	-
Puerta madera 6,7 cm (2,10x0,91) doble, elementos aislados con fieltro doble cierre goma, marco aislado con fieltro	35	15	34	29	33	36	34	41	40
Puerta madera 7,5 cm, con cierre esponja caucho 1,3 mm	32	7,5	35	31	32	33	29	37	41
Puerta madera especial, 50-60mm, juntas de goma, burlete, etc.	27	5.6	61	30	30	29	25	26	37
Puerta roble bien seca y emplastecida	22	4,4	-	15	18	21	26	25	-

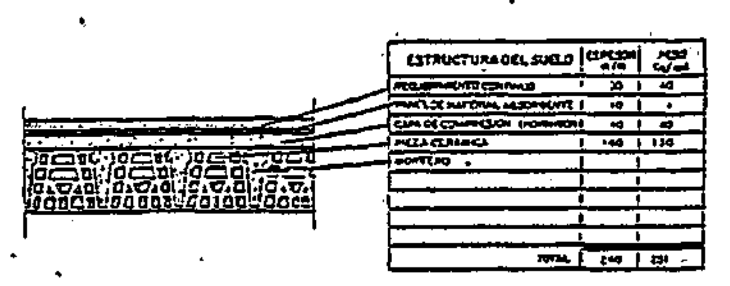
TABLA 6.6.3 (continuación III)

Material	TL (db)	Espesor. (cm)	Peso (kg/m^2)	Perdidas de transmisión (db) 125 (c/s)	250 (c/s)	500 (c/s)	1000 (c/s)	2000 (c/s)	4000 (c/s)
Puerta roble, normal 44mm	20	4,4	-	12	15	20	22	16	-
Ventana, dobles vidrios 3-3, 5mm espaciados 7 mm.	30-21	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventana dobles vidrios 4-5 mm, marcos separados819-20cm), con absorbente en el marco	44	-	-	23	37	44	44	53	54
Ventana dobles vidrios 6-7 mm, espaciados 13 mm	36	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventana normal, vidrios 3-3, 5 mm con marco madera o metálico	21-24	-	-	14-18	14-19	21-25	21-25	29-30	25-27
Ventana normal, vidrios 6-7 mm con marco madera o metálico	21-26	-	-	19	13-21	22-28	22-28	25-29	27-37
Ventana normal, vidrio 6mm, hermética	29	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventana triple: vidrio 6mm + 13mm aire + vidrio 6mm + aire 6mm + + vidrio 5mm	39	4	-	-	-	-	-	-	-

ANEXO A LA TABLA 6.6.3



Forjado compuesto n.º 1 (TL = 26 db).



Forjado compuesto n.º 2 (TL = 44 db).

ANEXO A LA TABLA 6.6.3 (continuación)

ESTRUCTURA DEL MURO	ESPESOR m/m	PESO Kg/m²
GUARNECIDO DE YESO	15	24
LADRILLO HUECO DOBLE	60	85
REVESTIMIENTO INTERIOR	10	16
FIELTRO DE MATERIAL POROSO	30	1,6
CAMARA DE AIRE	30	—
LADRILLO HUECO	40	41
GUARNECIDO DE YESO	15	24
TOTAL	220	191,6

—Muro compuesto n.º 3 (TL = 47 db).

ESTRUCTURA DEL MURO	ESPESOR m/m	PESO Kg/m²
ENLUCIDO DE YESO	2,5	4
GUARNECIDO	15	24
LADRILLO HUECO DOBLE	60	85
GUARNECIDO BASTO	10	16
FIELTRO DE MATERIAL POROSO	30	1,6
CAMARA DE AIRE	30	—
LADRILLO HUECO	40	41
GUARNECIDO	15	24
ENLUCIDO DE YESO	2,5	4
TOTAL	225,0	199,6

—Muro compuesto n.º 4 (TL = 47 db).

ESTRUCTURA DEL MURO	ESPESOR m/m	PESO Kg/m²
GUARNECIDO DE YESO	15	24
PIEDRA LIGERA (POROSA)	70	84
FIELTRO DE MATERIAL POROSO	30	1,6
CAMARA DE AIRE	20	—
PIEDRA LIGERA	50	60
GUARNECIDO DE YESO	15	24
TOTAL	200	193,6

—Muro compuesto n.º 5 (TL = 48 db).

ANEXO A LA TABLA 6.6.3 (continuación II)

ESTRUCTURA DEL MURO	ESPESOR m/m	PESO Kg/m²
GUARNECIDO ARMADO DE YESO	10	15
PANEL DE MADERA	20	4,5
MANTA DE LANA O BORRA LIGERA	80	8
PANEL DE MADERA	20	4,5
GUARNECIDO ARMADO DE YESO	10	15
TOTAL	140	47

.—Muro compuesto n.º 6 (TL = 48 db).

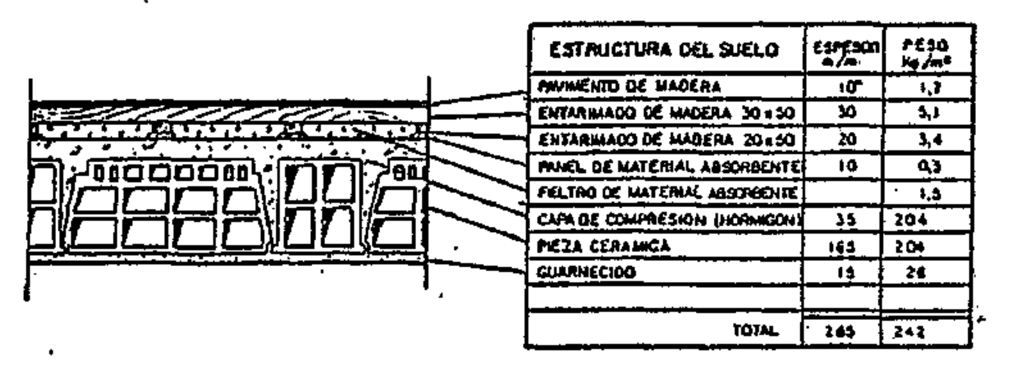
ESTRUCTURA DEL MURO	ESPESOR m/m	PESO Kg/m²
GUARNECIDO DE YESO	15	24
LADRILLO HUECO	80	65
ENLUCIDO FRATASADO	—	—
FIELTRO DE MATERIAL POROSO	30	1,5
LADRILLO HUECO	45	41
GUARNECIDO DE YESO	15	24
TOTAL	185	155,5

.—Muro compuesto n.º 7 (TL = 53 db).

ESTRUCTURA DEL MURO	ESPESOR m/m	PESO Kg/m²
GUARNECIDO DE YESO	15	24
PIEDRA LIGERA	300	360
FIELTRO DE MATERIAL POROSO	40	2,1
CAMARA DE AIRE	20	—
PIEDRA LIGERA	50	60
GUARNECIDO DE YESO	15	24
TOTAL	440	470,1

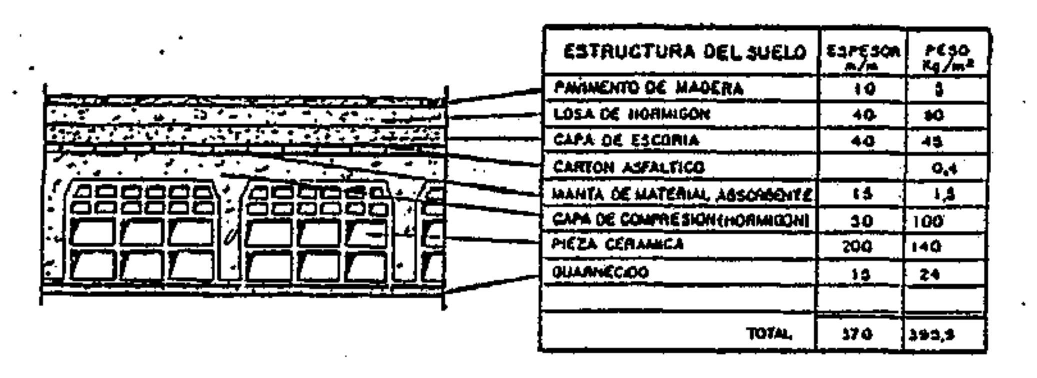
.—Muro compuesto n.º 8 (TL = 55 db).

ANEXO A. LA TABLA 6.6.3 (continuación III)



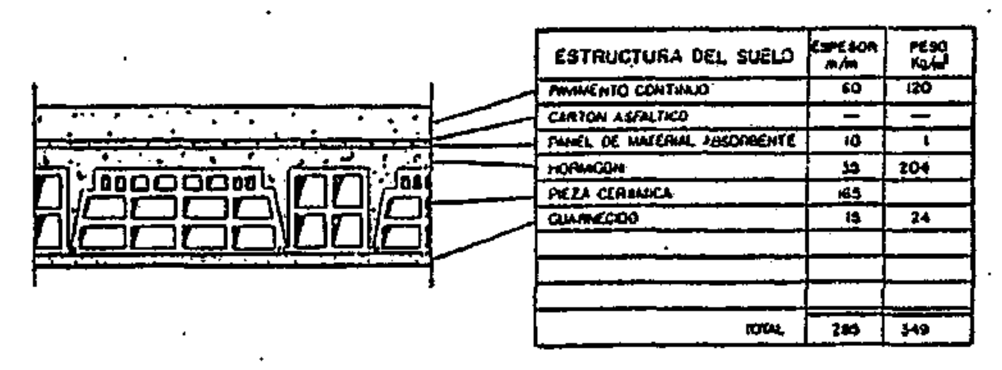
ESTRUCTURA DEL SUELO	ESPESOR m/m	PESO Kg/m²
PAVIMENTO DE MADERA	10	1,7
ENTARIMADO DE MADERA 30 x 50	30	5,1
ENTARIMADO DE MADERA 20 x 50	20	3,4
PANEL DE MATERIAL ABSORBENTE	10	0,3
FELTRO DE MATERIAL ABSORBENTE		1,5
CAPA DE COMPRESION (HORMIGON)	35	204
PIEZA CERAMICA	165	204
GUARNECIDO	15	28
TOTAL	265	242

—Forjado compuesto n.° 3 (TL = 41 db).



ESTRUCTURA DEL SUELO	ESPESOR m/m	PESO Kg/m²
PAVIMENTO DE MADERA	10	5
LOSA DE HORMIGON	40	80
CAPA DE ESCORIA	40	45
CARTON ASFALTICO		0,4
MANTA DE MATERIAL ABSORBENTE	15	1,5
CAPA DE COMPRESION (HORMIGON)	50	100
PIEZA CERAMICA	200	140
GUARNECIDO	15	24
TOTAL	370	393,5

—Forjado compuesto n.° 4 (TL = 40 db).



ESTRUCTURA DEL SUELO	ESPESOR m/m	PESO Kg/m²
PAVIMENTO CONTINUO	60	120
CARTON ASFALTICO	—	—
PANEL DE MATERIAL ABSORBENTE	10	1
HORMIGON	35	204
PIEZA CERAMICA	165	
GUARNECIDO	15	24
TOTAL	285	349

—Forjado compuesto n.° 5 (TL = 36 db).

ANEXO A LA TABLA 6.6.3 (continuación IV)

ESTRUCTURA DEL SUELO	ESPESOR m/m	PESO Kg/m^2
[illegible]	35	70
HORMIGON CON MALLA METALICA	50	100
LAMINAS DE CARTON ASFALTICO	—	1
FIELTRO DE MATERIAL ABSORBENTE	20	2
PIEZA CERAMICA	250	175
GUARNECIDO DE YESO	10	16
ENLISTONADO DE MADERA 40x40	40	1
MANTA DE MATERIAL ABSORBENTE	40	4
RED METALICA CON VELO FIBRA DE VIDRIO	—	—
TOTAL	445	369

—Forjado compuesto n.° 6 (TL = 45 db).

ESTRUCTURA DEL MURO	ESPESOR m/m	PESO Kg/m^2
GUARNECIDO DE YESO	20	32
LADRILLO HUECO	45	41
PANEL DE FIBRA	12	1,2
LADRILLO HUECO	45	41
GUARNECIDO DE YESO	20	32
TOTAL	142	147,2

.—Muro compuesto n.° 1 (TL = 41 db).

ESTRUCTURA DEL MURO	ESPESOR m/m.	PESO Kg/m^2
GUARNECIDO DE YESO	15	24
LADRILLO HUECO DOBLE	80	63
FIELTRO DE MATERIAL POROSO	30	1,6
CAMARA DE AIRE	15	—
LADRILLO HUECO	30	35,4
GUARNECIDO DE YESO	15	24
TOTAL	185	160,0

.—Muro compuesto n.° 2 (TL = 43 db).

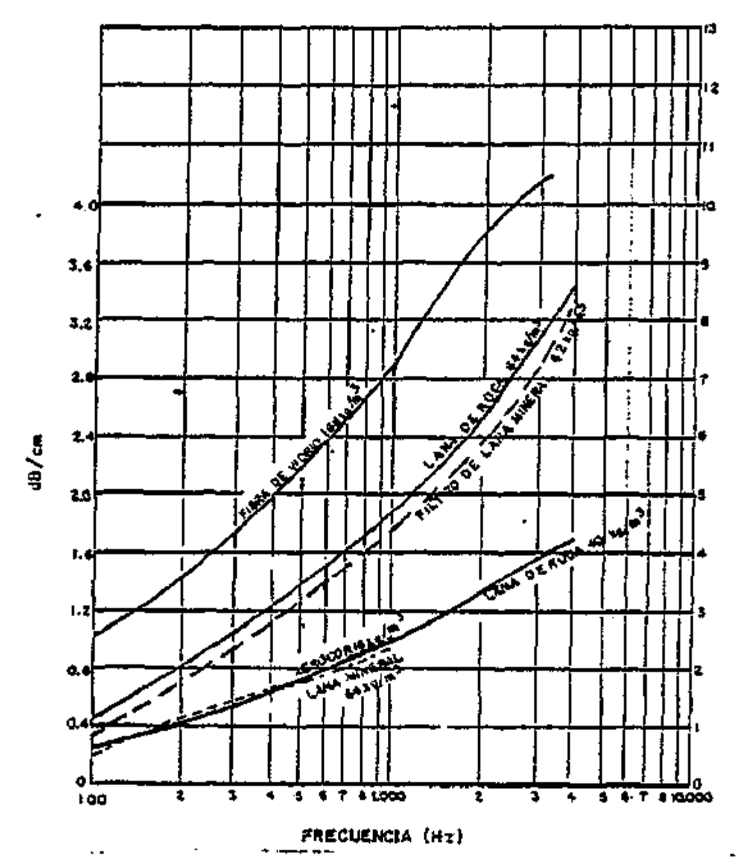


Figura.- 6.6.22 Aislamiento acustico ofrecido por diversos materiales porosos.

- Los materiales a emplear en el cerramiento deben tener unas pérdidas de transmisión adecuadas al aislamiento que se desea obtener y según el espectro del ruido producido por la fuente sonora. Esto puede originar que sea necesario el uso de paneles compuestos formados por láminas de diversos materiales con distintos TL, bien sean superpuestos o dejando una cámara de aire entre las superficies. En estos casos, las pérdida de transmisión del panel compuesto es inferior a la suma aritmética de las pérdidas de transmisión de los paneles simples que le constituyen.

- Al encerrar una fuente sonora, existirá un aumento del nivel de presión sonora en los puntos interiores como consecuencia del aumento del campo reverberante (ec. 5). Para evitar este aumento del nivel sonoro, debe colocarse material absorbente acústico en la parte interior de las paredes del cerramiento.

- Los cerramientos pueden presentar superficies de diversos materiales, cada uno de ellos con diferentes pérdidas de transmisión. Al ser el sonido radiado por las partes más débiles del cerramiento, el efecto de las superficies con menor TL es el de producir una disminución de la pérdida de transmisión del cerramiento. Esta disminución dependerá de la relación de superficies de los distintos materiales y de los distintos TL.

La pérdida de transmisión total será:

$$TL = 10 \log \frac{1}{\tau} \qquad (10)$$

con:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \tau_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \qquad (18)$$

siendo:

A_i = área de la superficie i

τ_i = coeficiente de transmisión del material de la superficie i, considerando τ = 1 para aquellas superficies abiertas.

La figura 6.6.23 muestra una gráfica que permite el cálculo de la pérdida de transmisión resultante de la conbinación de diferentes elementos.

En la instalación de cerramiento deben evitarse las conexiones y uniones entre éste y la fuente de ruido, a fin de evitar la presencia de "puentes acústicos" que disminuyan el aislamiento acústico. Por la misma razón se evitará que el cerramiento descanse en la misma bancada en que lo hace la fuente sonora.

- Deberá evitarse que el panel del cerramiento pueda transformarse en una fuente secundaria de ruido al ser excitado por las ondas incidentes. Este fenómeno se presenta para aquellas frecuencias del ruido que coinciden con la frecuencia de resonancia del panel.

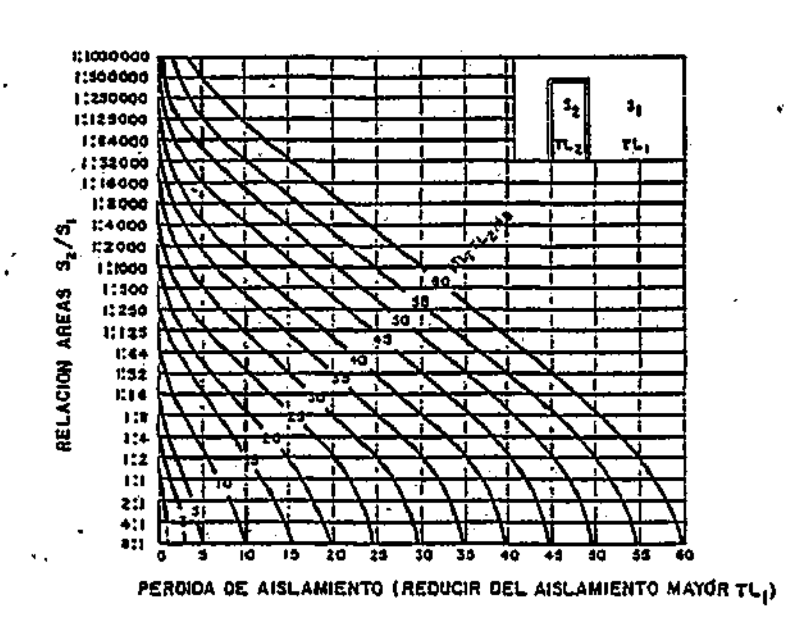


Figura.- 6.6.23 Curvas para el calculo de la pérdida de transmisión resultante al considerar dos superficies de materiales distintos.

ATENUADORES

Se llaman atenuadores o silenciadores aquellos elementos que se instalan en conducciones de fluidos que

transpotan energia son ora para la absorción de ésta.

En la industria, el uso de atenuadores es una forma del control del ruido proveniente de:

- Las pulsaciones de presión en compresores y bombas
- El flujo turbulento a alta velocidad en las válvulas de control.
- Los escapes de gas a alta presión en equipos neumáticos.
- Los flujos de aire creados por los sistemas de ventilación y calefacción
- Etc.

Los atenuadores pueden ser de absorción o reactivos:

a) Atenuadores de absorción: Estos sistemas se basan en la disipación progresiva delà energía sonora mediante el empleo de materiales absorbentes. Presentan una atenuación apreciable del sonido en una amplia gama de frecuencias, por lo que se emplean, preferentemente, en sistemas de aire acondicionado, ventiladores etc.

El modelo más sencillo de un atenuador de este tipo consiste en un conducto cuyas paredes están recubiertas por un material absorbente. La atenuación para las ondas sonora propagándose paralelas al eje del conducto puede calcularse mediante la expresión:

$$A = 1,05 \; \alpha^{1,4} \frac{P}{S} \qquad (19)$$

donde:

A = Atenuación por unidad de longitud, en dB/m

α = Coeficiente de absorción del material que recubre las paredes internas

P = Perímetro del conducto, en m

S = Sección del área abierta del conducto, en m^2.

La atenuación dada en la ecuación 19 varía de la siguiente forma: (Figura 6.6.24)

- Para bajas frecuencias, al ser α pequeño, el valor de A es, asimismo, pequeño.

- Al aumentar la frecuencia, aumenta el valor de A, pasando por un máximo. La frecuencia a que este máximo se produce depende no sólo de las propiedades del material absorbente, sino también de las dimensiones del conducto.

- Para altas frecuencias, hay una disminución entre los valores teórico y real de la atenuación, debido a que las longitudes de onda asociadas son más pequeñas que las dimensiones del conducto y su trayectoria pasa de ser paralela al eje a oblicua, siendo consecuentemente, menos absorbida por los materiales coloca- al efecto de las paredes internas del conducto.

Una mayor atenuación por unidad de longitud del conducto puede obtenerse por la instalación de separadores (Figura 6.6.25).

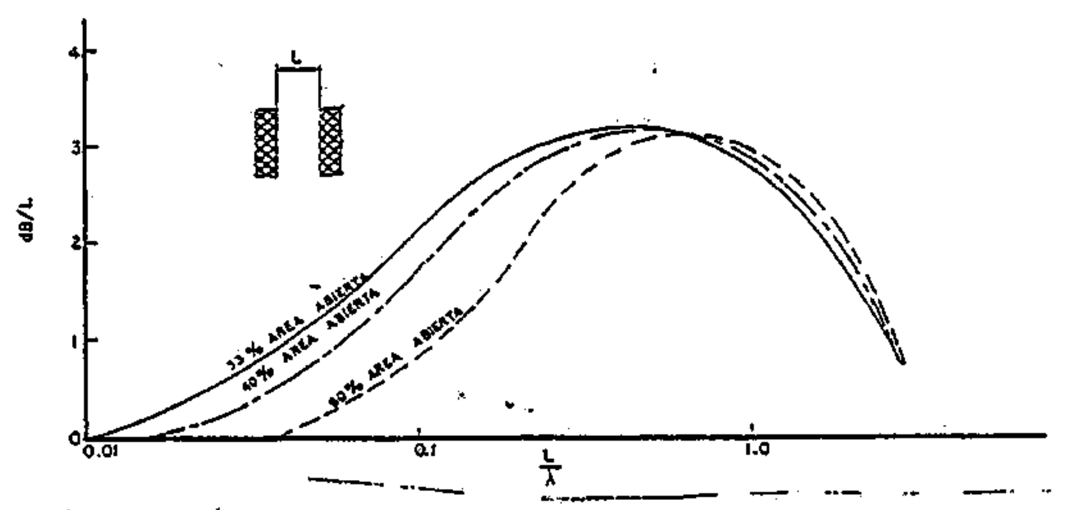


Figura.- 6.6.24 Atenuaciones típicas de un silenciador rectangular.

El efecto de estos elementos es obtener un conjunto de conductos absorbentes cuya anchura es pequeña con relación a la altura; consecuentemente, se obtiene un mayor valor para la expresión P/S. Sin embargo esto puede originar una pérdida de carga, que debe ser compensada aumentando, con respecto al conducto inicial, el área de la sección abierta.

En la Tabla 6.6.4 se muestra la atenuación ofrecida por silenciadores con distinta sección.

b) <u>Atenuadores reactivos:</u> Están constituidos por una serie de cavidades intercomunicadas, con cambios de sección (Figura 6.6.26). Se basan en las reflexiones que experimentan las ondas sonoras como consecuencia de las variaciones de impedancia acústica.

La atenuación que ofrecen estos sistemas depende en gran manera de su geometría y diseño, siendo muy selectivos en cuanto a las frecuencias que atenuan, por lo que se emplean en el control de ruidos que presentan tonos puros o frecuencias discretas.

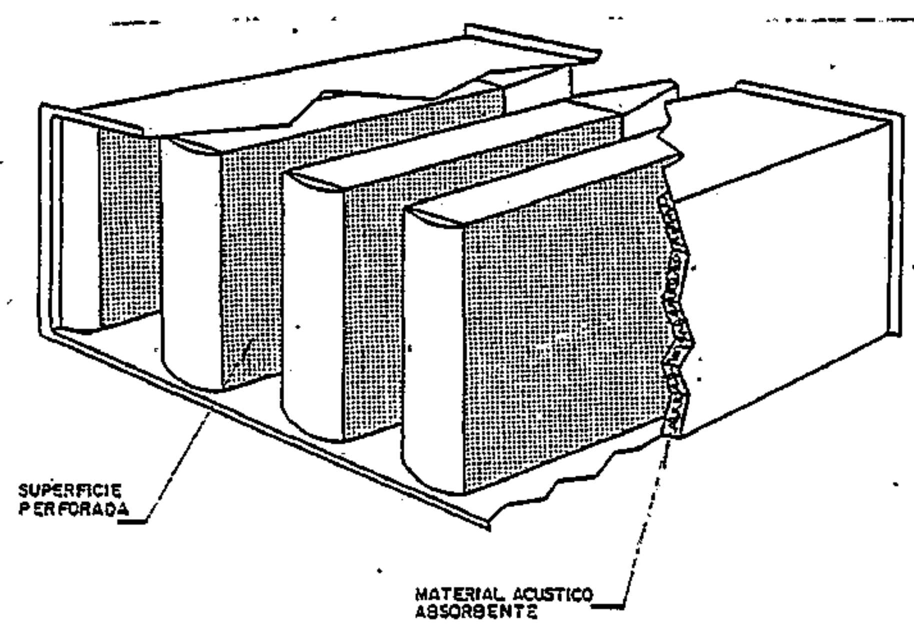


Figura.- 6.6.25 Esquema de atenuador de absorción.

TABLA 6.6.4

ATENUACION OFRECIDO POR VARIOS SILENCIADORES

CONDUCTO LISO	D (mm)	63Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
CHAPA METALICA (rectangular)	75– 180	0.2	0.2	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	205– 380	0.2	0.2	0.15	0.1	0.07	0.07	0.07	0.07
	405– 760	0.2	0.2	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	815–1525	0.1	0.05	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
CHAPA METALICA RECUBIERTA (rectangular)	75– 180	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	205– 380	0.4	0.4	0.3	0.1	0.07	0.07	0.07	0.07
	404– 760	0.4	0.4	0.2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	815–1525	0.1	0.1	0.1	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
CHAPA METALICA (circular)	75– 180	0.03	0.03	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1
	205– 380	0.03	0.03	0.03	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07
	405– 760	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05
	815–1525	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
CHAPA METALICA RECUBIERTA (circular)	76– 178	0.06	0.06	0.1	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1
	203– 381	0.06	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07
	406– 762	0.04	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05
	813–1524	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
CONDUCTO CON MATERIAL ABSORBENTE	**D (mm)**	**63 Hz**	**125 Hz**	**250Hz**	**500 Hz**	**1 kHz**	**2 kHz**	**4 kHz**	**8 kHz**
CHAPA METALICA (rectangular)	75	0.2	0.2	0.8	3.6	8.5	12.0	12.0	12.0
	125	0.2	0.2	0.4	2.4	5.5	7.6	6.4	6.4
	205	0.2	0.2	0.2	1.6	3.8	4.6	2.0	1.0
	405	0.1	0.1	0.1	1.1	2.2	1.0	0.1	0.1
CHAPA METALICA RECUBIERTA (rectangular)	75	0.4	0.4	1.6	3.6	8.5	12.0	12.0	12.0
	125	0.4	0.4	0.8	2.4	5.5	7.6	6.4	6.4
	205	0.4	0.4	0.4	1.6	3.8	4.6	2.0	1.0
	405	0.2	0.2	0.2	1.1	2.2	1.0	0.1	0.1
CHAPA METALICA (circular)	75	0.2	0.2	6.8	3.6	8.5	12.0	12.0	12.0
	125	0.2	0.2	0.4	2.4	5.5	7.6	6.4	6.4
	205	0.2	0.2	0.2	1.6	3.8	4.6	2.0	1.0
	405	0.1	0.1	0.1	1.1	2.2	1.0	0.1	0.1
CHAPA METALICA RECUBIERTA (circular)	75	0.4	0.4	1.6	3.6	8.5	12.0	12.0	12.0
	125	0.4	0.4	0.8	2.4	5.5	7.6	6.4	6.4
	205	0.4	0.4	0.4	1.6	3.8	4.6	2.0	1.0
	405	0.2	0.2	0.2	1.1	2.2	1.0	0.1	0.1

(ATENUACION EXPRESADA EN dB/0,3 m)

ELEMENTOS ANTIVIBRADORES

Las vibraciones que se producen en las partes móviles de los equipos industriales pueden fácilmente transmitirse a través de la propia estructura del equipo, así como a través de bancadas y soportes, y ser radicada al medio ambiente en forma de ondas sonoras.

La eliminación de las vibraciones en la propia fuente o la acción en los caminos de transmisión origina una disminución del ruido radiado.

La acción en la transmisión se realiza mediante la instalación de elementos antivibradores, que consisten en esencia, en un soporte elástico que actúa como barrera, oponiéndose a la propagación de las vibraciones.

El diseño de un sistema antivibratorio eficaz es particular para cada situación y depende de las frecuencias propias de vibración, de la situación del centro de gravedad del sistema, etc.

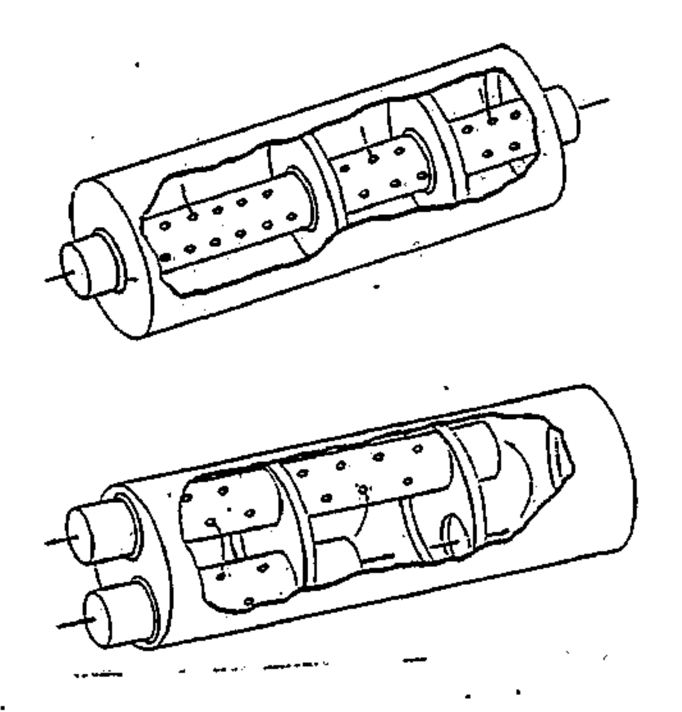


Figura. - 6.6.26 Esquemas de atenuadores reactivos

PROTECCION PERSONAL

Para ejercer una acción de control de ruido en el receptor deben considerarse dos situaciones distintas y claramente definidas:

a) El receptor está sometido al ruido propio de la actividad que realiza
b) El receptor está sometido al ruido producido por otras actividades ajenas a él.

En la primera situación el control se realiza mediante:

- Una reducción de la exposición diaria al ruido, es decir, alternando los periodos en los cuales el individuo está sometido a niveles sonoros elevados con otros periodos más tranquilos y silenciosos. Esto se consigue mediante rotación de los puestos de trabajo, horario estringido, instalación de cabinas donde poder descansar de los niveles elevados, etc.

En las situaciones anteriores donde se combinan dos o más periodos de exposiciones diferentes, es oportuno la utilización del concepto de Dosis de Ruido, definido como:

$$DR = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \ldots + \frac{C_n}{T_n} \qquad (20)$$

donde:

C_n = tiempo total de exposición a un nivel sonoro determinado.
T_n = tiempo total de exposición permitida a ese nivel (Tabla 6.6.5)

TABLA 6.6.5 NIVELES DE RUIDO PERMITIDOS

Horas diarias de exposición	Nivel sonoro
8	90
6	91,5
4	93
3	94,5
2	96
1 1/2	97,5
1	9
1/2	103
1/4 o menos	106

Si la Dosis de Ruido excede la unidad, el individuo se encuentra por encima de los límites establecidos y existe riesgo de pérdida de audición inducida por ruido. La idea de alternar los periodos de exposición a niveles elevados con otros más silenciosos, es la de conseguir que la Dosis de Ruido sea inferior a la unidad:

-El uso de protectores personales, tales como tapones (de algodón fibra de vidrio, caucho, etc.) y auriculares u orejeras (con banda elástica de sujeción de espuma o fluido, etc.). En la Figura 6.6.27 se presentan las atenuaciones para alguno de estos elementos.

En el caso en que el receptor recibe el ruido de fuentes ajenas a él, las técnicas control pueden ser:

- Aislamiento acústico del local en que se encuentra
- Tratamiento acústico de interiores.
- Instalación de barreras
- Emisión de sonidos (por ejemplo, música ambiental), que enmascaran el ruido.
- Etc.

CONCLUSIONES

Las acciones de control de ruido dirigidas a la reducción de los niveles de presión sonora existentes en el interior de una instalación industrial o emitidos por ella al medio ambiente exterior son diversas, si bien en algunos casos las alternativas posibles son limitadas.

En la Figura 6.6.27 se muestran los resultados que se obtienen en la reducción del ruido emitido por los equipos actuando sobre la propagación de las ondas sonoras.

No obtante, hay algunos aspectos a considerar en las medidas de control de ruido y que deben estar presentes en todo estudio y proyecto, así:

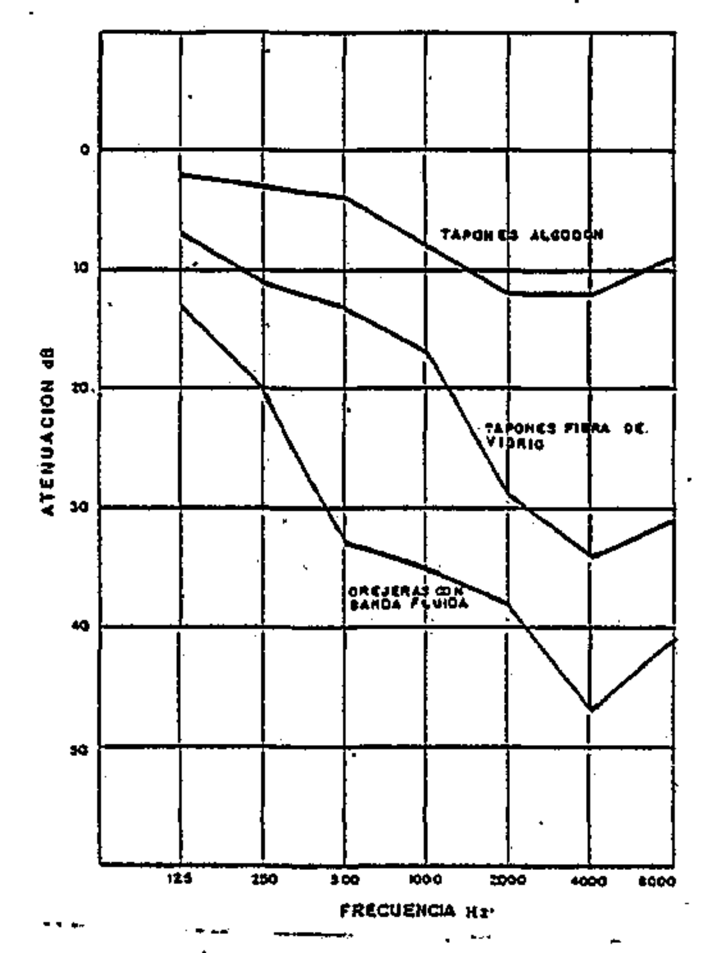


Figura. - 6.6.27 Curvas de atenuación sonora para distintos elementos de proteccion personal.

- Los efectos sobre el normal funcionamiento de la fuente, incluyendo puesta en marcha, reparaciones, mantenimiento, alimentación, etc.

- El posible deterioro de los elementos empleados por acciones de humedad, polvo, choques, temperatura, etc.

- La compatibilidad de las soluciones y materiales empleados con los procesos generadores de ruido. Se debe evitar el empleo de materiales combustibles o de aquellos que desprenden polvo o partículas.

- Por último, el aspecto económico, incluyendo aquí no sólo los aspectos derivados de los puntos anteriores, sino también el grado de control de ruido en cada situación. Si bien este último punto está en muchas situaciones señalado por las legislaciones y normativas, también es cierto que en ocasiones, los límites por ellas señalados son inapropiados; así exigir unos límites de emisión de ruido al exterior de una instalación industrial sin considerar el ruido ambiente existente en dicha zona ajeno a la contribución de la actividad de la industria, pueden penalizar excesivamente a ésta, sin ningún resultado positivo referente al ruido ambiental en la zona.

Todos estos puntos pueden contemplarse tanto en las acciones de control en instalaciones existentes como en futuras. Sin embargo, es evidente que se obtendrán mejores resultados y a un coste menor, si el control de ruido se realiza en el estado de diseño básico de las instalaciones industriales.

(a)

ORIGINAL

SPL, dB

FRECUENCIA, Hz

(b)

ANTIVIBRADORES

ORIGINAL

MODIFICADO

SPL, dB

FRECUENCIA, Hz

MATERIAL ABSORBENTE

PANTALLA

(c)

ORIGINAL

MODIFICADO

SPL, dB

FRECUENCIA, Hz

CERRAMIENTO MATERIAL ABSORBENTE

(d)

ORIGINAL

MODIFICADO

SPL, dB

FRECUENCIA, Hz

Fig.- 6.6.27 Control del ruido emitido por un equipo utilizando diversas técnicas.

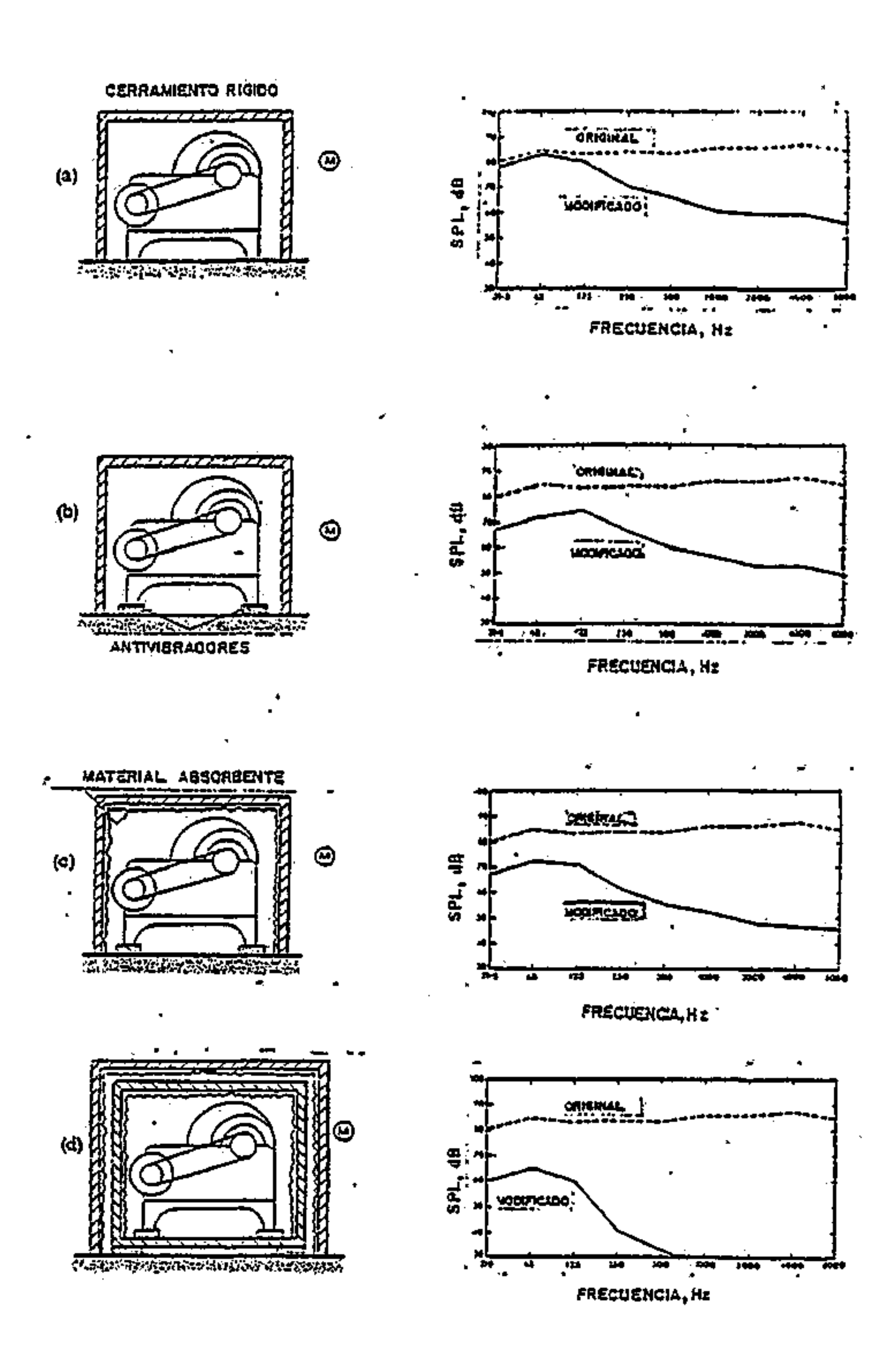


Fig. 6.6.27 (Cont) Control del ruido emitido por un equipo utilizando diversas técnicas.

7.1. INTRODUCCION

El sistema de medidas acústicas ideal sería aquel que permitiera obtener mediante lectura directa la sonoridad, molestia, nivel de interferencia, etc., pero hasta el momento no es posible reproducir con exactitud las complejas respuestas del cerebro humano; además de que al ser la respuesta al ruido subjetiva, cada individuo tendría su propio valor y solo sería posible un valor estadístico medio.

La instrumentación acústica existente mide los parametros físicos relativos a las propiedades del movimiento de ondas.

Las características físicas de las ondas sonoras capaces de sus medidas en un punto determinado incluyen: presión sonora, desplazamiento y velocidad de las particulas intensidad, densidad sonora e incremento de temperatura.

De todas ellas, las más interesantes son: presión y velocidad. Dado que están relacionadas por la resistencia acústica del medio ($P = \rho cv$, esto es cierto para ondas planas; y en muchos casos reales podemos suponer que se cumpla esta relación), es indiferente la medida de una u otra.

Sin embargo al tener la velocidad del sonido un carácter vectorial, harían falta tres medidas, para su conocimiento exacto.

Por el contrario, el carácter escalar de la presión obliga para su determinación precisa, a una sola medida.

Es por esto, que se mide la presión acústica y de ella se deduce el nivel sonoro o la intensidad del sonido.

Los instrumentos acústicos deben medir pues los niveles de presión acústica, el espectro y la evolución del nivel sonoro en función del tiempo, con el proposito de investigar el proceso de generación, transmisión de ruido y los efectos de éste en el hombre.

Los elementos fundamentales para medida y análisis del sonido son: micrófono, sonómetro, magnetófono, registrador gráfico de nivel, analizador espectral, oscilógrafo, analizador estadístico, analizador de tiempo real y dosímetros.

7.2. MICROFONOS

Un micrófono es un sistema que transforma una onda sonora en una onda eléctrica. Idealmente la onda eléctrica debe ser una copia exacta de la onda sonora con un factor de proporcionalidad llamado - "respuesta o sensibilidad" del microfono.

Características. Los factores característicos de los micrófonos que determinan su campo de ampliación son:

- Sensibilidad. La sensibilidad de un micrófono se define como la razón entre la señal eléctrica de sa

lida y la señal acústica de entrada. Normalmente se expresa en dBv/Mbar, donde dBv es el nivel de la señal de salida en decibeles ref. 1 volt. para una señal de entrada de 0,1 microbar.

En la mayoria de los microfonos se requiere que posean alta sensibilidad sobre todo para la medida de sonidos de baja frecuencia, mientras que aquellos los microfonos de baja sensibilidad son aplicables a las bajas y altas frecuencias. En un microfono puede aceptarse baja sensibilidad con el fin de mejorar otras características (tales como estabilidad, respuesta en frecuencia, posibilidad de medir altos niveles de presión sonora, etc.). Estos microfonos son de uso más dificil por la facilidad con que son perturbados por vibraciones, ruido del circuito electrónico, etc..

La sensibilidad de un micrófono depende de las dimensiones físicas de éste y en general se puede decir que decrece al disminuir las dimensiones de aquel.

<u>Respuesta en frecuencia.</u> Es la exactitud con que el micrófono responde a las ondas sonoras que recibe.

Normalmente está característica está dada por la curva de respuesta que no es sino la representación gráfica de los niveles de la señal de salida del micrófono para una señal acústica de entrada constante, en función de la frecuencia. (Figura 6.7.1).

Los factores que pueden determinar esta característica de los micrófonos son las variaciones de la señal sonora, el campo acústico, las dimensiones del micrófono, etc.. Las variaciones muy rapidas de la señal sonora requieren para su medida micrófonos especiales.

La respuesta del micrófono, para altas frecuencias, depende de sus dimensiones físicas; así cuando el tamaño de aquel es del orden, o mayor, que la mitad de la longitud de onda, su presencia modifica el campo sonoro. El grado de perturbación depende de la longitud de onda en relación con las dimensiones del micrófono.

La respuesta del micrófono varía según las características del campo sonoro a medir. La llamada respuesta de presión excluye los efectos geometricos del campo sonoro, para lo cual se hacen las medidas en pequeñas cavidades con presión sonora uniforme sobre todo el diafrágma del micrófono.

<u>Direccionalidad.</u> La respuesta de los micrófonos varía con la dirección de llegada de las ondas sonoras. Algunos de ellos son diseñados para tener una respuesta muy pequeña para ciertos angulos de llegada de la señal acústica, son los llamados micrófonos direccionales, en oposición a los llamados omnidireccionales que presentan una sensibilidad constante para cualquier angulo de incidencia.

Sin embargo, existe un efecto de difracción del campo sonoro que origina una direccionalidad, aún en los equipos omnidireccionales, cuando r/λ es mayor que 0,05 (altas frecuencias), siendo r el radio del micrófono.

Lás gráficas de respuesta en frecuencia de los micrófonos presentan varias curvas que corresponden a diversos angulos de incidencia (generalmente incidencia normal, horizontal y "ramdom").

La direccionalidad de los micrófonos es función de la frecuencia y generalmente es simetrica respecto al eje perpendicular.

Un factor importante de la respuesta del micrófono es su comportamiento frente al campo sonoro, como consecuencia de la perturbación que origina en este.

Según esto, los micrófonos se pueden dividir en dos grupos: micrófonos de campo libre y micrófonos de presión. Los primeros están calibrados de forma que minimicen el efecto propio de sus dimensiones y deben utilizarse apuntando a la fuente sonora. Los micrófonos de presión no tienen en cuenta la perturbación que originan al introducirse en el campo sonoro y deben colocarse perpendiculares a la dirección de propagación del sonido.

- Distorsión. Cuando la tensión de salida que proporciona un micrófono no reproduce exactamente las frecuencias que le llegan sino que las deforma, se dice que existe una distorsión. La más común es la distorsión armonica, que consiste en la presencia, junto a la frecuencia fundamental, de sus armónicos. En la mayoria de las medidas estan permitidas distorsiones armonicas del 4-5%; sin embargo en casos especiales son deseadas variaciones menores del 1%.

También son posibles, distorsiones en amplitud y fase siendo particularmente perjudicial las primeras.

- Impedancia. La impedancia eléctrica de los micrófonos es una característica a considerar al conectarlos a los demás instrumentos de medida. El acoplamiento defectuoso de impedancias se traduce en una pérdida de sensibilidad del sistema de registro o medida.

Los fabricantes de micrófonos suministran información sobre la impedencia de éstos así como su variación con la frecuencia, mientras que en los demás instrumentos de medida están señaladas las impedencias correspondeintes.

- Ruido inherente. Un sistema acústico formado por un micrófono y un pre-amplificador genera un ruido interno debido a la agitación térmica de los electrones. Este ruido, que se manifiesta siempre, puede llegar a ser muy importante si estan conectados a la salida sistemas de amplificación. Así pues, para un determinado sistema, el ruido térmico marcará el nivel acústico límite inferior que puede ser medido.

- Condiciones atmosféricas. La respuesta de un micrófono varía con la temperatura, humedad y presión atmosférica. De estos efectos el más importante es la variación con la temperatura; sera, pues, deseable conocer las correcciones que es necesario aplicar a la señal de salida del micrófono con los cambios de temperatura, para cada frecuencia, sobre todo cuando la temperatura de medida varia notablemente con la de calibrado.

El efecto de la humedad es importante cuando, debido a un cambio brusco de temperatura, se origina una condensación sobre el diafragma del micrófono ya que en estas condiciones se produce ruido eléctrico característico.

Los cambios de presión que ocurren en las condiciones normales de medida, practicamente no afectan a la señal de salida y unicamente en casos muy particulares (ruido de aviones, etc.) pueden ser causa de cambios significativos.

- Rango dinamico. Cada micrófono presenta dentro del campo de niveles de intensidad sonora, una zona óptima de trabajo esto es lo que se llama rango dinamico. El límite inferior de este rango esta determinado por el ruido inherente al sistema y por el propio circuito eléctrico, mientras que el límite superior lo marcan los efectos de difracción y las resonancias del diafragma.

7.3. TIPOS DE MICROFONOS

Los micrófonos usados en medidas acústicas responden a uno de los siguientes tipos: de condensador, piezoeléctricos o cerámicos y dinámicos.

Micrófonos tipo condensador

Un micrófono de este tipo consta de un condensador eléctrico, una de cuyas armaduras es una delgada lámina metálica o diafragma, sobre la que inciden las ondas sonoras, la otra es un electrodo rígido situado detras de aquélla (Figura 6.7.2.).

Las deformaciones producidas por la presión acústica en el diafragma se transforman en una señal eléctrica:

a) manteniendo una carga constante en el condensador mediante la cual el voltaje varía con la capacidad.
b) usando la capacidad del equipo para establecer la frecuencia de un oscilador de modo que la frecuencia es modular por la capacidad.

Los micrófonos usando este segundo circuito de transformación de la señal acústica en eléctrica, se llaman de tipo condensador RF y permiten una respuesta en frecuencia que se extiende practicamente hasta 0 Hz.

Las ventajas de este tipo de micrófonos son su adecuada sensibilidad acústica, buena respuesta en frecuencia, fácil calibrado, niveles bajos de ruido interno, gran estabilidad de sus características y poca sensibilidad a las vibraciones. Entre las desventajas, la fragilidad del diafragma y la susceptibilidad a la humedad.

Estos micrófonos presentan una gran impedancia, sobre todo a bajas frecuencias, por lo que deben usarse con un sistema de amplificación o preamplificador. Este preamplificador debe ser de buena calidad para evitar el ruido interno, además y con el fin de obtener una buena respuesta debera poseer una impendencia de entrada muy alta para todas las frecuencias.

Micrófonos piezoeléctricos

Este tipo de micrófonos están basados en la propiedad que presentan ciertos cristales (cuarzo, sal de Rochela, turmalina, etc.) de transformar las presiones y tracciones que actuan sobre sus caras, en cargas eléctricas (Figura 6.7.3).

Estos equipos emplean el diafragma para transformar la presión acustica en una fuerza que, actuando sobre el elemento piezoeléctrico paralela o perpendicularmente a su eje polar crea la señal electrica correspondiente.

Las ventajas que presentan este tipo de micrófonos son su alta capacidad y solidez, gran anchura dinámica y la ausencia de tensión de polarización. Como desventajas estan: menor sensibilidad acústica, --

menos límite superior en la respuesta en frecuencia (apróximadamente 10 KHz) y que son facilmente perturbables por vibraciones y bruscos cambios de temperatura

Micrófonos dinamicos

Este tipo de micrófonos emplean las vibraciones producidas en el diagragma por las variaciones de presión de las ondas sonoras, en poner en movimiento una bobina colocada en el interior de un campo magnetico, inducíendose consecuentemente una corriente eléctrica en dicha bobina (Fig. 6. 7. 4).

Las ventajas de estos equipos son baja impedancia eléctrica, bajo nivel de ruido interno, por otra parte la variación de la respuesta con la temperatura es pequeña aúnque varía con la frecuencia.

Estos micrófonos presentan el inconveniente de que la respuesta es facilmente distorsionable por los campos magnéticos, igualmente tienen pobre respuesta para bajas frecuencias ($<$20 Hz), alta sensibilidad para las vibraciones y dificultad en el calibrado.

7.4. CALIBRADO DE LOS MICROFONOS

La fragilidad de estos equipos hace necesario un periodico calibrado para detectar irregularidades principalmente en sensibilidad, respuesta en frecuencia y distorsión.

Un riguroso calibrado es muy dificil y requiere tiempo y facilidades muchas veces no disponibles.. Consecuentemente calibrado en condiciones de campo libre o con otro micrófono patrón son impracticables, pero técnicas más sencillas basadas en calibrados, con presiones corregidas, son fáciles de realizar y presentan suficiente exactitud en la mayoría de las situaciones.

El calibrado puede hacerse con métodos absolutos o con metodos de comparación. Para los primeros, el nivel de sonido de calibración es determinado usando una fuente patrón mediante una medida independiente. En el segundo metodo el nivel del sonido de calibración es medido mediante un transductor de frecuencias llamado patrón secundario.

Los calibrados pueden ser de varios tipos y se pueden realizar en camaras anecoicas y reverberantes, en tubos y por pistófonos.

Cámara anecoica. Las cámaras anecoicas por sus especiales características permiten condiciones de campo libre para la medida de la sensibilidad de los micrófonos.

La técnica de calibrado es por comparación. Se usa un micrófono de referencia (patrón secundario) para medir el nivel de presión sonora producido por una fuente acústica estable. El micrófono a calibrar se coloca en la misma posición que el de referencia y su respuesta es comparada con la de este último.. Debe tenerse especial cuidado a altas frecuencias (pequeñas longitudes de onda) para que las posiciones de los equipos sean identicas.

Las condiciones de ensayo están limitadas: en el límite inferior por las bajas frecuencias existentes en la cámara anecoica y en el límite superior por las características de la fuente y la precisión en la fijación de los equipos.

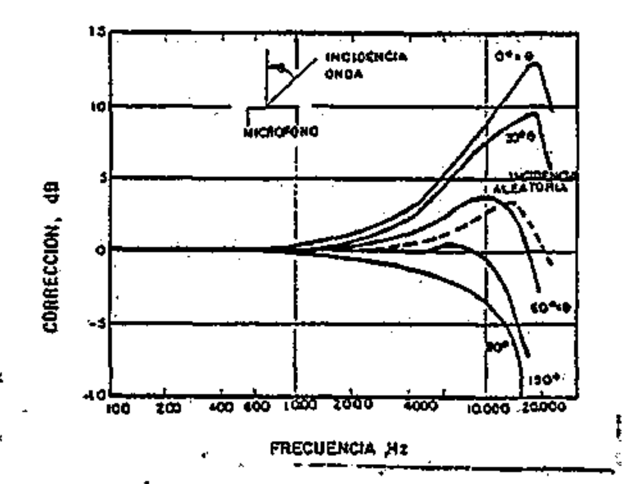


Fig. 6.7.1 Respuesta en frecuencia de un micrófono, indicando las correcciones a aplicar según el angulo deincidencia de las Ondas Sororas.

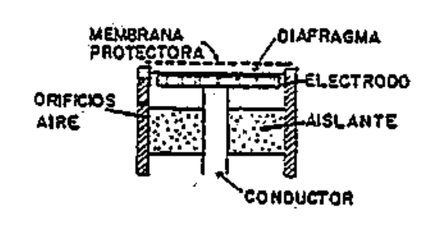


Fig. 6.7.2 Esquema del micrófono tipo condensador

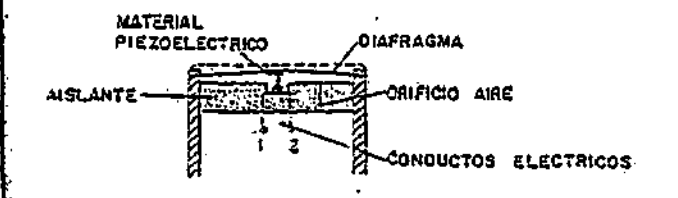


Fig. 6.7.3 Esquema del micrófono tipo piezoeléctrico.

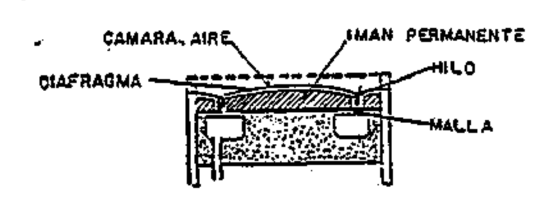


Fig. 6 7 4. Esquema del micrófono tipo dinámico.

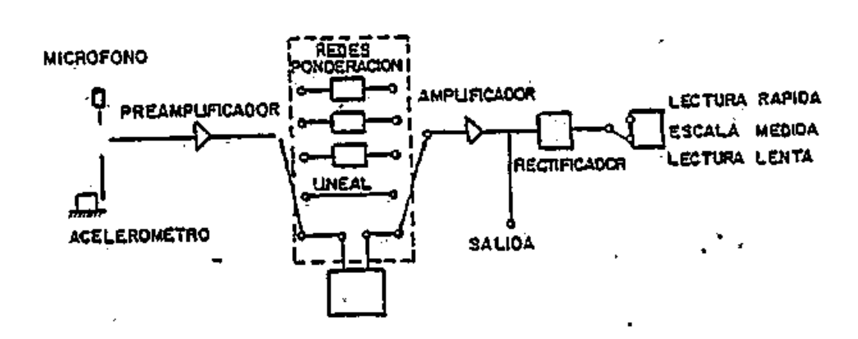


Fig. 6.7.5 Esquema de un sonómetro.

Tubo de ondas planas. En este método se usa como fuente sonora un altavoz situado en el extremo del tubo y el micrófono se situa en el otro extremo, que está terminado con un material absorbente a fin de evitar las reflexiones del sonido. El método es de comparación como en el caso de la cámara anecoica pero aquí se pueden medir las bajas frecuencias cosa que allí no era posible. Este método está limitado a frecuencias inferiores a aquellas cuya resonancia transversal causa variaciones de presión a través del diámetro del tubo.

Cámara reverberante. El calibrado aquí es también por comparación pero la respuesta es en campo difuso. La técnica de trabajo es anologa al de la cámara anacoica.

Calibrado por reciprocidad. Este método está basado en la propiedad de los transductores de actuar como emisor y como receptor, y permite un calibrado absoluto de dos micrófonos simultaneamente.

La técnica consiste en usar dos micrófonos, uno alternativamente como fuente y como receptor, y otro como receptor y una fuente sonora estable. La sensibilidad de ambos es establecida por los voltajes y corrientes medidos.

Las medidas pueden realizarse en una cámara anecoica, pero se emplean pequeñas cámaras por mayor sencillez.

Pistófonos. Estos instrumentos dan un calibrado de precisión. Para lo cual un pistón vibra en el extremo de un pequeño cilindro hueco y cuyo otro extremo está cerrado hermeticamente por el diafragma del micrófono. El campo sonoro generado al vibrar el pistón será uniforme en toda la cavidad para longitudes de onda mayores que la mayor dimensión de la cavidad. Midiendo la amplitud de desplazamiento del pistón podrá fijarse el nivel sonoro patrón.

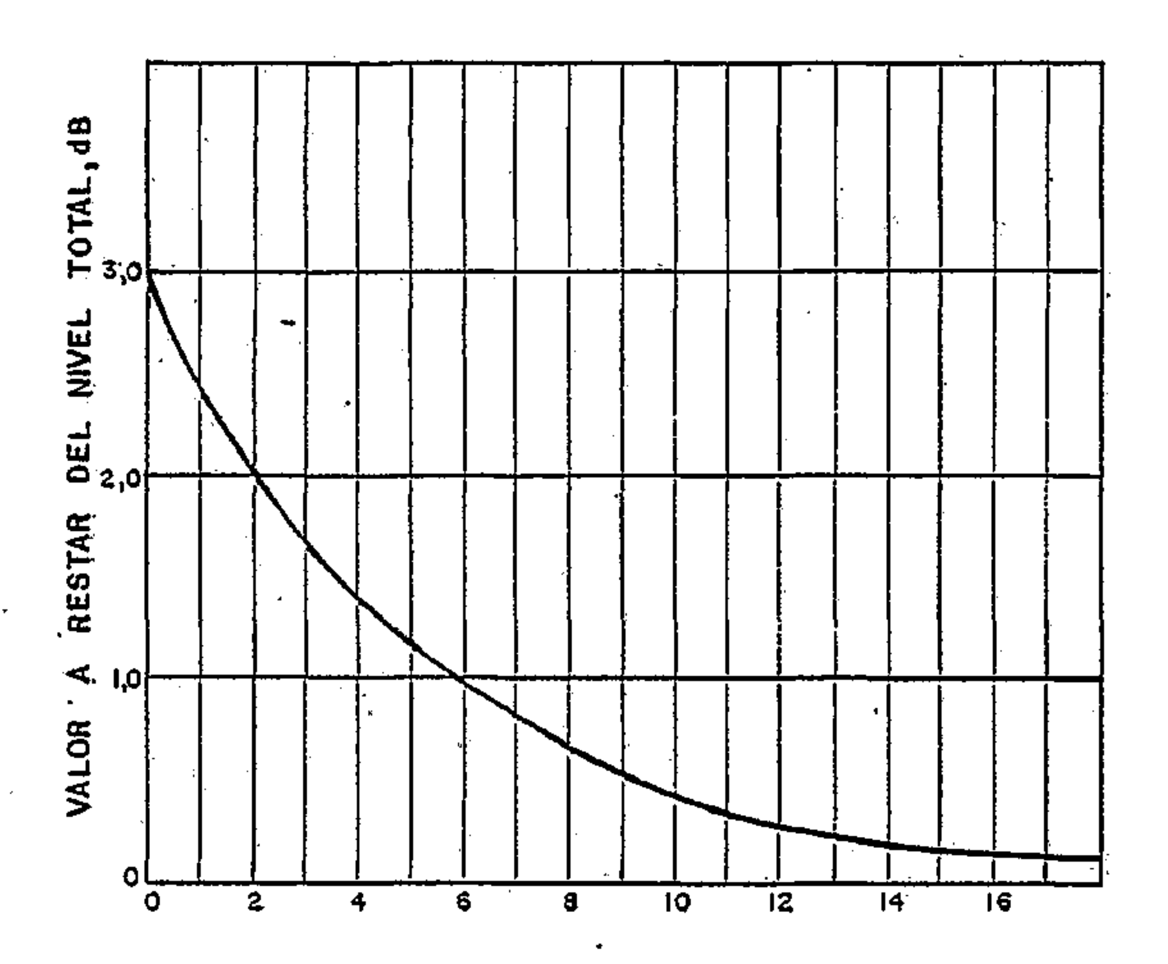
Los sistemas que poseen sistemas de excitación por batería son más exactos que los que emplean otros métodos (hidraulicos, electrománeticos o piezoeléctricos). Este método es el más empleado para calibrados in situ.

7.5. SONOMETROS

Basicamente los equipos de medida de la presión sonora o sonómetros, están constituidos por un micrófono, un preamplificador con ganancia variable, un selector de redes de compensación A, B, C y lineal (y quizá tambien D), conexión prevista para filtros de octava o 1/3 de octava, un amplificador de ganancia variable y dos salidas, una para conectar a un osciloscopio, magnetófono, etc., y otra va a un rectificador que transforma la corriente filtrada en corriente continua, proporcional al valor RMS del ruido, y que es indicada sobre la escala de lectura (Figura 6.7.5).

La señal eléctrica que dan los micrófonos puede en algunos casos leerse directamente, sin embargo en otros, esto es imposible debido a su bajo nivel, será pues preciso un preamplificador que aumente la señal de entrada. Por otra parte no es posible poseer una escala lineal para medir voltajes, cuyo rango sea 10^6:1. Para resolver todo esto se incluye en los equipos de medida un amplificador (o ganancia) variable según intervalos constantes de anchura 10 o 20 dB. Cuando la ganancia esté ajustada, el nivel de presión sonora será la suma de las lecturas de la ganancia y la escala.

Las redes de compensación son las que se muestran en la Fig.6.1.6, y en la Tabla 6.1.6, igulamente los filtros de octava y 1/3 de octava son los que se muestran en la Tabla 6.1.5



DIFERENCIA ENTRE EL NIVEL TOTAL Y EL NIVEL DE RUIDO DE FONDO, dB

Fig. 6.7.6 Correcciones por ruido ambiente.

Cuando un sonómetro se usa conectado a otros instrumentos (registrador gráfico de nivel, magnetófono, etc.) es importante las características de la señal de salida, de forma que no este distorsionada con respecto a la señal de entrada. Dos factores deben considerarse, el nivel de voltaje de salida y el ruido inherente del sonido. La distorsión de la señal de salida empieza 10 dB por encima del valor máximo que señala la escala de medida, el ruido inherente del equipo es normalmente 30 dB por debajo del nivel que señala la escala completa.

Muy pocos sonidos son constantes en amplitud sobre un periodo de tiempo y consecuentemente la aguja del sonómetro fluctuará sobre la escala, por otra parte hay alguna evidencia de que el ojo integra señales sobre una duración de 100 msec. Este efecto es tenido en cuenta en los equipos de medida en la posición de lectura llamada lenta ("slow). Por el contrario la posición de lectura llamada rápida ("fast") se usará para sonidos que presentan grandes fluctuaciones en periodos cortos de tiempo.

El voltaje de salida del amplificador es una medida del nivel sonoro y está dado por el valor cuadratico medio (RMS) del nivel de presión sonora. En la mayoría de las ocasiones es suficientemente exacto este valor, solo en el caso particular de impactos o impulsos, es necesario conocer el pico efectivo de presión sonora con tiempos de respuesta de 10 msec. Existen sonómetros especiales que responden a estas necesidades.

Debe tenerse un cuidado especial para evitar que los sonómetros esten sometidos a vibraciones, campos magnéticos y niveles sonoros intensos, que producirían lecturas erroneas. Asimismo es conveniente comprobar periodicamente el estado de las baterias, en aquellos equipos que estén alimentados por estos elementos.

La precisión de un sonómetro vendrá determinada por la calidad de los elementos electronicos que lo componen. Según esto han sido clasificados en:

Clase 1 : De precisión. Permiten efectuar medidas con una precisión de ± 1 dB. Se utilizan para medidas de laboratorio.

Clase 2 : De evaluación. Permiten efectuar medidas con una precisión de ± 2 dB. Se utilizan para medidas generales.

Clase 3 : De inspección. Permiten medidas estimativas, admitiendo gran tolerancia en sus especificaciones.

Existen finalmente los sonómetros para ruidos impulsivos que permiten medir con precisión ruidos de muy corta duración o sonidos discontinuos, disponiendo para ello de características especiales en todos sus elementos y que permiten conocer el pico de intensidad y/a veces, el ancho de los impulsos.

7.6. MAGNETOFONOS

En algunos casos son convenientes los registros mágneticos del ruido para su posterior análisis, especialmente cuando se deben realizar trabajos de exterior lejos del laboratorio. Sin embargo, pueden producirse graves errores en las medidas a menos que se extremen las precauciones.

En principio solo deben usarse, de entre la amplia gama de magnetofonos existentes en el mercado, -

aquellos llamados de precisión. Estos equipos presentan uniformidad en la respuesta/frecuencia, con buena respuesta para altas frecuencias; gran rango dinámico , cuyos límites inferior y superior están determinados respectivamente por el ruido inherente del propio equipo y el máximo nivel que puede registrar sin distorsión; fluctuaciones minimas en las velocidades de registro y reproducción consiguiendose, consecuentemente,distorsiones inapreciables de la señal registrada, etc.

Dos sistemas de registro son normalmente usados: los llamados "registro directo" y "frecuencia modulada". El primer sistema permite una velocidad de registro más baja para las frecuencias altas. Sin embargo, para frecuencias inferiores a 20 Hz, o si se quiere la forma de la onda de la señal registrada, debe usarse el segundo sistema. La respuesta en frecuencia de estos equipos es facilmente mejor que ± 0, 5 dB, y el registro puede reproducirse con otros magnetófonos de similares características.

En los sistemas de registro directo es esencial la adecuada compatibilidad entre los sistemas registrador y reproductor por ello es deseable que se hagan ambas operaciones con el mismo equipo.

Las características del registro estarán influenciadas por el tipo de cinta magnética, la tolerancia de la cabeza reproductora, alineación mecánica de la cabeza, temperatura y acumulación de suciedad en la superficie de la cabeza, forma en que se enrollen las cintas, etc. Es evidente que todos estos factores diferirán de unos equipos a otros incluso para tipos y modelos iguales, y que deberán tenerse en consideración cuando se usan distintos equipos para la grabación y la reproducción.

Pueden obtenerse resultados satisfactorios de los registros, con un margen de error de 1 o 2 dB, cuando se realizan comprobaciones regulares, las cabezas están limpias y solo se utilizan instrumentos calibrados. Aquellos registros realizados a una velocidad de la cinta que ofrezca un límite superior de frecuencia próximo a las altas frecuencias de la señal originan distorsiones debiendose usar una velocidad de registro mayor. La anchura de banda de todos estos equipos aumenta de forma -- aproximadamente lineal con la velocidad de la cinta en el registro.

El registro realizado in situ, al ser analizado posteriormente en el laboratorio solo dará una información acerca de la forma del espectro pero no de los niveles sonoros a menos que sea incluido en la cinta un sonido patrón, por ejemplo el sonido producido por un pistófono. Estos controles deben realizarse al principio, durante y al final de la grabación, a fin de asegurar un buen registro. Al mismo tiempo es recomendable, para evitar que el incremento del nivel sonoro por altas frecuencias durante las medidas pueda distorsionar la señal, que el nivel de registro para éste control sea 20 dB inferior al nivel máximo de registro.

Todos los magnetófonos son sensibles a los campos magnéticos y debe cuidarse donde se colocan. Igualmente hay que prestar atención al conectar la entrada de estos equipos a los micrófonos o sonometros o a la salida al equipo analizador, de forma que las características electrónicas sean compatibles.

Los magnetofonos de precisión presentan bajo nivel de ruido interior y relaciones de ruido/señal en este tipo de intrumentación es de 45 - 50 dB.

7.7. ANALIZADORES DE FRECUENCIA

Son instrumentos destinados a realizar el análisis espectral de una señal sonora. Siendo el análisis espectral la determinación de la distribución de la energía o de la potencia de una señal en función de la frecuencia.

En esencia, estos equipos constan de un conjunto de filtros y un voltímetro que indica la energía eléctrica que pasa a través de éllos.

Los mencionados filtros realizan una labor de selección, dejando pasar a través de ellos tan solo las frecuencias comprendidas en una zona delimitada del espectro completo. Esta acción selectiva depende de la respuesta eléctrica o de las variaciones de impedancia como función de la frecuencia de las inductancias, resistencias y condensadores que constituyen el filtro.

Los filtros más usados son los de octavas o 1/3 de octava, es decir se analiza la señal sonora en bandas de frecuencia que tienen la anchura de una octava o un tercio de octava. Estos filtros se presentan en grupos cambiables y cuyas frecuencias se continuan de unos a otros, cubriendo de esta manera todo el campo de frecuencias.

En ocasiones los análisis en octavas o 1/3 octava no son suficientemente precisos y son necesarios otros tipos de analizadores tales como:

a) analizadores de procentaje constante, en los cuales los filtros tienen una anchura de banda que es un porcentaje constante de la frecuencia central. Los más usados son los de anchura de banda de -- 1%, 2% y 6%.

b) analizadores de anchura de banda constante, son analogos al caso anterior pero con la salvedad que la anchura de banda de filtro es constante y no varía con la frecuencia. Los modelos más usados son con anchura de banda de 3, 10, 30 y 100 Hz.

Los analizadores de banda estrecha solucionan algunos problemas que los de octava y 1/3 octava no pueden resolver pero tienen algunos inconvenientes:

a) requieren una señal de entrada estacionaria, lo que requiere realizar el análisis en el laboratorio con la señal previamente registrada y para no depender de las posibles variaciones del ruido durante el tiempo que dura el análisis, se corta de la cinta magnética un trozo característico de algunos segundos de duración, se forma una cinta sin fin y se pasa el número de veces que sea necesario.

b) como consecuencia de lo anterior, el análisis requiere gran cantidad de tiempo.

El filtro ideal será aquel que presente una transmisión uniforme para señales que tienen frecuencias dentro de su anchura de banda y no tenga respuesta para las frecuencias fuera de dicha banda. Sin embargo esto no ocurre en la realidad y hay cierta contribución de las frecuencias exteriores a la banda y aquellas frecuencias que están en la zona de coincidencia de dos filtros pueden no ser separadas claramente. En aquellas regiones del espectro donde se supone pueda existir este efecto, se resolverá el problema mediante el uso de analizadores de anchura de banda más estrecha. Las fluctuaciones en la señal de entrada pueden dar origen a lecturas erroneas, lo mismo ocurrirá siempre

que no se analice exactamente el mismo segmento de señal.

Finalmente hay que señalar que los campos magnéticos o eléctricos pueden afectar los circuitos de los analizadores falseando los resultados, consecuentemente deberá cuidarse el emplazamiento de estos equipos.

7.8. ANALIZADORES DE TIEMPO REAL

Los recientes desarrollos en los sistemas de análisis han creado un nuevo concepto de analizador llamado analizador de tiempo real.

Estos analizadores pueden ser de dos tipos:

a) los analizadores de tiempo real tercio de octava, que trabajan de una forma similar a los filtros convencionales de 1/3 octava excepto que en lugar de conectar filtros individual y secuencialmente, cada analizador tiene un conjunto de filtros cubriendo el rango completo de frecuencias. La salida de cada filtro es detectada por una memoria eléctrica y todos los resultados son dados simultaneamente en un intervalo de 1 mseg.

b) los analizadores de tiempo real de compresión de tiempo o de banda estrecha, que trabajan de distinta manera, aquí el rango de frecuencias deseado es barrido por un filtro de anchura de banda constante en un "tiempo comprimido" para dar el resultado en forma de un espectro en banda estrecha.

Ambos sistemas trabajan en periodos de tiempo muy cortos y pueden reproducir los resultados de forma gráfica.

7.9. REGISTRADORES GRAFICOS DE NIVEL

Son equipos que permiten un registro permanente del nivel medido a través de un sonometro. Igualmente pueden registrar el espectro del sonido si se conectan a un analizador de frecuencia. Estos equipos son especialmente útiles para medir el tiempo de reverberación de los locales.

7.10. OSCILOSCOPIOS

Son indispensables cuando se desea tener la representación gráfica de la presión acústica instantánea. La señal fluctuante que aparece en su pantalla puede, en un momento dado, fotografiarse o fijarse en ciertos osciloscopios especiales.

7.11. ANALIZADORES ESTADISTICOS

Con frecuencia el nivel de ruido fluctúa demasiado para poderse representar por un solo valor. Se puede obtener la repartición estadística de sus variaciones gracias a un aparato que contabiliza el tiempo durante el cual el nivel sobrepasa un valor dado (análisis acumulativo) o el tiempo durante el cual dicho nivel permanece comprendido entre dos valores dados (análisis distributivo).

7.12. CALIBRADORES

Constituyen un elemento secundario imprescindible en un equipo de medida del sonido ya que mejora en gran manera la precisión de los resultados. Estos equipos suministran al sistema de medidas, una señal, generalmente acústica, de características conocidas que permite comprobar en cada uno de los -- pasos de dicho sistema, y en el conjunto, el buen funcionamiento de éste; igualmente sirve como referencia para realizar medidas comparativas.

En general, el calibrador suministra una señal acústica con una frecuencia determinada y un nivel específico y que acoplado al microfono del sistema proporciona una referencia de nivel sonoro patrón.

7.13. DOSIMETROS

Estos equipos constituyen en esencia unos sonómetros acumuladores, teniendo su principal aplicación en la medida del ruido (o mejor del nivel sonoro) durante largos periodos de tiempo. Con el fin de realizar esta medida, estos equipos llevan incorporados, además de los elementos típicos de los sonómetros, un contador mediante el cual acumula en el tiempo los valores de señal recibidos en el microfono.

Estos equipos trabajan especialmente en la determinación de las dosis de ruido a que están expuestos los operarios, durante la jornada laboral, por lo cual se trabaja sobre la base de 8 horas dando la lectura en tanto por ciento del nivel de ruido equivalente recibido por el sujeto que lleva el dosímetro.

7.14. TECNICAS PARA LA MEDIDA DEL RUIDO

Las técnicas a utilizar en los problemas de medida del ruido dependen de las características de éste y de la información que se desea obtener. Los ruidos constantes o estacionarios, que constituyen los ruidos más fáciles de medir requieren un equipo de medidas mínimo, compuesto por un sonómetro y un analizador, sin embargo los ruidos que varian rapidamente con el tiempo tales como ruido de tráfico, de impulsos, etc, requieren equipos más sofisticados que incluyen analizadores estadísticos o de tiempo real, osciloscopios, magnetófonos, etc.

Igualmente la finalidad de las medidas repercutirá en el equipo a utilizar, así, en los problemas de higiene que solo requieren, en la mayoría de las situaciones, el nivel sonoro, bastará exclusivamente la utilización de un sonómetro, sin embargo en los problemas que requieran tecnicas de control, será necesario la utilización de analizadores, registros gráficos, etc.

A continuación se van a especificar las consideraciones generales que deben observarse en la realización de las medidas de los niveles de ruido, mientras que en el apartado siguiente se especifican para la determinación de las características acústicas de máquinas y equipos:

- Selección de la posición de medida.

La localización de los puntos de medida esta generalmente impuesta por el proposito de la misma. Si este proposito es el de evaluar la exposición al ruido, la posición de medida deberá coincidir con la situación normal de los oidos de los operarios.

En el caso de interesar la posible molestia por el ruido en las comunidades próximas a las fuentes causantes de él, se medirá en puntos representativos, esto es en el exterior de aquellas viviendas afectadas por el ruido.

Si las medidas han de servir como guía para un programa de control de ruido, las medidas deberán ser tomadas en diferentes puntos cerca de cada fuente de ruido, procurando una distancia mínima de 0,5 m de aquella. Cuando exista una norma de medida específica, las posiciones de medida serán aquellas que se señalan en la norma.

Independientemente del fin para el que se realicen las medidas, deberán ser tenidas en consideración aquellas condiciones acústicas que afectan la validez o reproducibilidad de las medidas, tales como ruido de fondo, direccionalidad de los micrófonos, etc.

En algunas situaciones, la lectura obtenida con el sonómetro dependerá del angulo de incidencia del sonido sobre el micrófono. Debido a los efectos de difracción, los sonidos de alta frecuencia que lleguen al micrófono a lo largo del eje de simetria del mismo, producirán una lectura mayor que los sonidos incidentes según otras direcciones. Este efecto ocurre a frecuencias tanto más altas cuanto más pequeño es el micrófono.

Los sonómetros están calibrados para incidencia aleatoria, (ramdom) esto es, aquélla en que todas las direcciones de incidencia son igual de probables. De acuerdo con la Fig. 6.7.1 las lecturas del sonómetro para ruidos direccionales de alta frecuencia deberán corregirse según las curvas de respuesta de los micrófonos.

Cuando el ruido consiste en un tono puro y cuando la fuente sonora esté rodeada por paredes y techo, es frecuente encontrar ondas estacionarias. Para evitar su influencia, deberán realizarse diversas medidas en torno a los puntos de medida elegidos.

En la medición de los niveles de ruido de origen industrial hay que considerar su variación cuando la máquina comienza o termina un proceso, así como cuando varian las operaciones. materiales empleados, velocidades de producción, etc,. Estas variaciones influyen en la exactitud con que dichas medidas pueden ser reproducidas. Aun con fuentes de ruido relativamente constantes, el nivel sonoro varia de una manera apreciable de un punto a otro alrededor de la fuente. Por tanto, es importante medir el ruido en distintas posiciones en el área de interés; si la variación es pequeña, los datos pueden ser promediados, pero si las variaciones son grandes se deberán realizar posteriores medidas para comprobar la repitibilidad de éstas.

Las variaciones de ruido originadas por las diferentes condiciones de operación, deberán ser descritas en cada una de las posiciones de medida.

Un efecto a considerar sobre las medidas es el de las condiciones ambientales, por sus posibles perturbaciones sobre los equipos de medida o sobre éstas, como son: elevada humedad, temperatura, viento, vibraciones, campos magnéticos, ruidos eléctricos en el circuito, etc,.

- Ambientes con altas temperaturas.

Aunque no son casos frecuentes, a veces es necesario medir en ambientes en que la temperatura es elevada o fluctuante, siendo entonces necesario conocer las limitaciones del micrófono.

Los micrófonos de Sal de Rochelle no pueden alcanzar temperaturas mayores de 45º C.

Los micrófonos de condensador se pueden utilizar normalmente hasta los 100º C y algunos bastante más, dependiendo entonces del tipo de cable de conexión.

Es necesario en estos casos el tener en cuenta las correcciones de sensibilidad introducidas por la temperatura.

- Humedad.

Los micrófonos de Sal de Rochelle son sensibles a la humedad, ya que la sal se disuelve si la humedad es mayor del 85%, o se seca si la humedad es muy pequeña.

Los micrófonos piezoeléctricos no son muy sensibles a los cambios de humedad, pero sí los de condensador; en éstos, si hay condensación, se pueden producir fugas eléctricas que influyen sobre la medida, por ello generalmente se mantienen a una temperatura moderada por medio de un circuito de calefacción. Cuando no se efectúan medidas es corriente guardarlas en una caja hermética con un desecador.

- Inducción.

Los micrófonos dinámicos y en general cualquier equipo de medida puede captar señales eléctricas parásitas por inducción de campos magnéticos y eléctricos externos; esto es necesario tenerlo en cuenta cuando se mide en la proximidad de transformadores, motores, generadores, etc..

- Elección de micrófono

No hay ningún tipo de micrófono que sea adecuado para ser usado en todos los problemas de ruido, aunque los que se suministran con los sonómetros son de uso muy general y sirven en la mayor parte de los casos. Sin embargo, para la medida de niveles sonoros muy altos, cuando se usan cables de conexión entre el micrófono y el sonómetro, para medida de ruidos de muy alta frecuencia, y cuando existen condiciones extremas de humedad o temperatura, hay que tener especial cuidado al elegir los micrófonos.

a) Micrófonos para muy bajos niveles de ruido.

Tienen que tener muy poco ruido propio y a la vez una sensibilidad suficiente como para producir un voltaje que sobrepase al ruido propio del circuito electrónico de medida.

Existen microfonos piezoeléctricos y algunos muy cuidados de condensador que pueden medir hasta 24 dB, y unos 15 dB(A) si se utiliza la escala A.

Cuando se quiera bajar por debajo de estos niveles hay que sacrificar considerablemente la linealidad de la curva de respuesta.

b) Grandes niveles de ruido.

Existen micrófonos de condensador que pueden medir hasta los 184 dB, aunque lo normal es que alcancen únicamente los 150 dB. Existen micrófonos especiales "de impacto" que pueden medir hasta los 190 dB.

c) Micrófonos para bajas frecuencias

Los micrófonos piezoeléctricos de Sal de Rochelle y de condensador son muy apropiados para frecuencias bajas, de hasta unos pocos hertzios. Se pueden conseguir micrófonos especiales de condensador que responden hasta 0,1 Hz.

d) Ruidos de alta frecuencia

Los micrófonos para medir ruidos con componentes de alta frecuencia han de ser de tamaño reducido, para evitar difracciones, y con respuesta uniforme en altas frecuencias; generalmente esta respuesta dependerá del tipo de ruido (ruido difuso o propagación en campo libre) y del angulo de incidencia de las ondas sonoras con respecto al eje del micrófono; es necesario tener muy en cuenta a este respecto las indicaciones del fabricante.

Los micrófonos del condensador miden fácilmente hasta 20 KHz, y existen algunos de pequeño tamaño (3 mm de diámetro) que se pueden utilizar hasta los 140 KHz.

- Efecto del recinto y objetos próximos

Cuando la fuente sonora se encuentra dentro de un recinto total o parcialmente cerrado, el sonido se refleja varias veces en superficies más o menos absorbentes antes de llegar al micrófono y el nivel medido no es el mismo que si la propagación fuese al aire libre.

Cerca de la fuenté sonora el efecto de las reflexiones es pequeño porque predomina el sonido directo, pero más lejos predomina el sonido reflejado ya que estamos en el campo reverberante, en el que el nivel de presión depende de la potencia acústica radiada, del tamaño y absorción interna del recinto y de la directividad de la fuente. La distancia entre la fuente y el campo reverberante, y la zona de transición entre éste y el campo directo, dependen también de estas características y de la longitud de onda del sonido.

Cuando se quiere medir el ruido de una fuente determinada hay que procurar que el sonido reflejado no influya en la medida. Una comprobación puede ser la siguiente: si las medidas cerca de la fuente y las medidas lejos de ella difieren en por lo menos 8 dB, la contribución del campo reverberante en el primer caso es menor de 1 dB.

Lo mismo que influyen las superficies del recinto, cualquier objeto reflectante cerca de las posiciones de medida puede influir en el resultado, incluyéndose aquí al observador. Esto ha de ser tenido también en cuenta en las medidas y seguir las instrucciones del fabricante del aparato al respecto. Generalmente, si el campo no es difuso, es conveniente no situarse en la línea con la fuente y el micrófono, sino permanecer a un lado del aparato.

- Efecto del ruido de fondo.

Cuando se está midiendo el nivel de presión sonora de una fuente de ruido es conveniente que la medida determine únicamente el sonido que provenga de ella, con exclusión de otras fuentes de ruido. Como norma general, si la diferencia de niveles medidos con la fuente sonora en marcha y parada es mayor de 10 dB, no hay que introducir correcciones, que son sin embargo necesarias si esta diferencia es menor.

Las correcciones a aplicar en este último caso dependen de la relación entre los niveles medidos y el ruido de fondo. Las correcciones a aplicar están dadas en la Fig. 6.7.6.

- Calibración

El resultado de las medidas depende de la utilización de un equipo que esté en correcto estado de funcionamiento. Aunque los instrumentos en general son estables, su respuesta puede variar lentamente en el tiempo, por lo que es indispensable el realizar periodicamente contrastaciones en un laboratorio especializado. Además de las contrastaciones periodicas, es necesario realizar una comprobación completa si los instrumentos han sufrido algún golpe o han estado expuestos a condiciones extremas de humedad o temperatura. Pero, aparte de esto, antes y después de realizar una serie de medidas es necesario el realizar calibraciones "in situ" que aseguren el correcto funcionamiento de los aparatos.

En general, en esta calibración ha de comprobarse el circuito eléctrico del equipo, para lo cual este puede estar dotado de una señal interna de referencia, y la respuesta del micrófono por medio de un calibrador acústico que da una señal de una frecuencia determinada y con un nivel de presión conocido, que sirve para comprobar todo el equipo.

7.15. DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS ACUSTICAS DE EMISION SONORA DE LAS MAQUINAS Y EQUIPOS

El método que se especifica a continuación trata de la medida del nivel sonoro (y de los niveles de presión sonora en bandas de octava) del ruido aéreo generado por máquinas y equipos industriales, con el fin de determinar sus características acústicas.

La fuente sonora deberá radiar el sonido en condiciones de campo libre, estando situada sobre un plano reflectante que le sirva de apoyo. Igualmente deben evitarse las reflexiones sonoras de otras superficies y obstaculos a fin de no interferir en las mediciones.

El nivel de ruido ambiente, cuando la máquina no esté funcionando debe ser al menos de diez (10) dB inferior al nivel sonoro cuando la máquina esté en funcionamiento. Las medidas de ruido ambiente deben efectuarse en las mismas posiciones en que se realicen las del ruido de la máquina.

Para corregir los niveles medidos, cuando la diferencia entre estos es menor que 10 dB y mayor que 3 dB se aplican las correcciones dadas én la Fig. 6.7.6.

Para la realización de las medidas, la máquina deberá instalarse de tal forma que se minimicen los ruidos no característicos de la misma y debidos a una instalación defectuosa. Igualmente, el equipo

deberá funcionar en las condiciones normales de trabajo, siempre que sea posible.

Los puntos de medida se situarán de acuerdo con las normas siguientes:

a) En caso de no existir especificaciones particulares más concretas, los puntos de medida principales se situarán en un plano medio horizontal, paralelo a la base reflectante, ó como mínimo a 0,25 m. sobre la altura de la base.

b) Para máquinas grandes (dimensión lineal máxima $l > 0,25$ m) los puntos estarán a 1 m. de la superficie de la máquina.

c) Para máquinas pequeñas (dimensión lineal máxima $l < 0,25$ m) los puntos se situarán a una distancia de la superficie de la máquina comprendida entre cuatro veces su dimensión lineal máxima y 1 m, pero nunca a menos de 0,25 m.

d) Cuando las dimensiones de la máquina lo aconsejen, se instalarán puntos intermedios a intervalos no superiores a 1 m. de los puntos principales:

En las Fig. 6.7.7 y 6.7.8 se presentan de forma esquemática las posiciones de medida en los planos horizontales y verticales respectivamente.

La determinación del valor medio de los resultados de las medidas en las diferentes estaciones, se realizará de acuerdo con la expresión siguiente:

$$N_m = 10 \log \frac{1}{n} \left(\text{antilog} \frac{N_1}{10} + \text{antilog} \frac{N_2}{10} + \text{antilog} \frac{N_n}{10} \right)$$

donde:

N_m = Nivel sonoro medio en dB (A) o nivel de présión sonoro en una determinada banda de frecuencia en dB.

N_1 = Nivel sonoro ó nivel de presión sonora en la estación 1.

N_n = Nivel sonoro o nivel de presión sonora en la estación n.

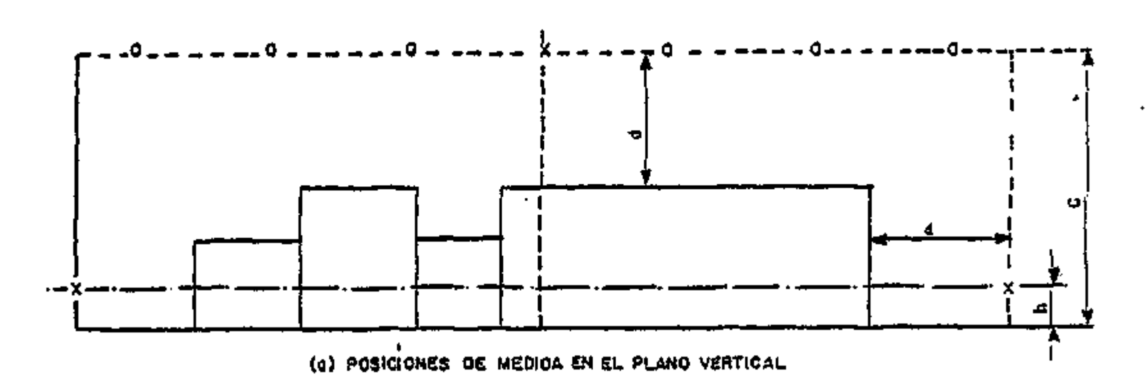
n = Número de puntos o estaciones de medida.

Si los valores del nivel medido en las diferentes posiciones no varían entre si más de 5 dB, el valor medio se puede obtener, apróximadamente, calculando la media aritmética, con lo cual el error es menor de 0,7 dB.

A partir de los valores de presión sonora obtenidos en las mediciones se pueden calcular los niveles de potencia sonora, suponiendo que la radiación de la fuente es hemisférica, a partir de la expresión:

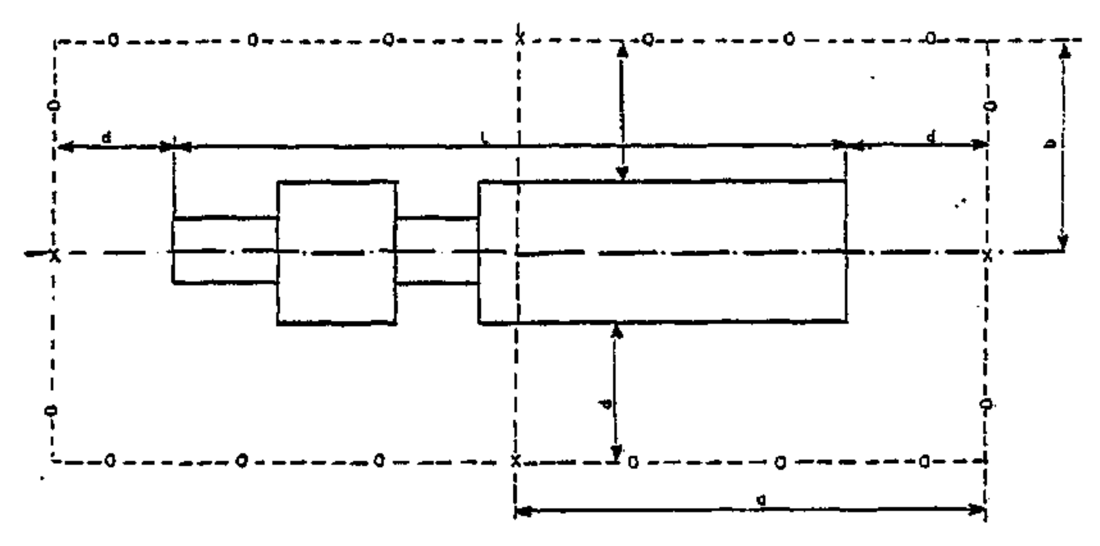
$$SWL = SPL + 10 \log A$$

donde SPL son los niveles de presión sonora en bandas de octava.



(a) POSICIONES DE MEDIDA EN EL PLANO VERTICAL

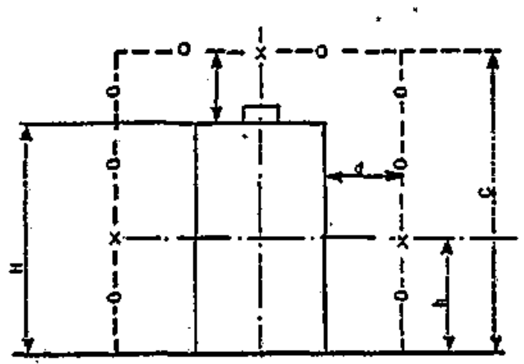
l metros	d metros
$\geq 0{,}25$	1
$< 0{,}25$	$4l \leq d \leq 1$ $d \geq 0{,}25$



(b) POSICIONES DE MEDIDA EN EL PLANO HORIZONTAL

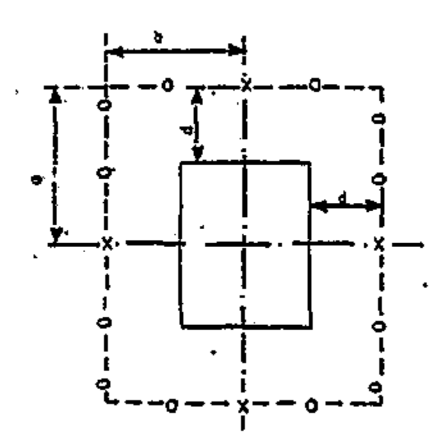
x Posiciones principales de medida
o Posiciones secundarias de medida; distancia o-x = 1m.

Fig. 6.7.7 Posiciones demedida de los niveles de presión sonora para máquinas horizontales.



(a) POSICIONES DE MEDIDA EN EL PLANO VERTICAL

l metros	d metros
≥ 0,25	1
< 0,25	4l ≤ d < 1 d > 0,25



(b) POSICIONES DE MEDIDA EN EL PLANO HORIZONTAL

X Posiciones principales de medida

O Posiciones secundarias de medida; distancia o-x = 1m

Fig. 6.7 8 Posiciones de medida de los niveles de presión sonora para máquinas verticales.

La superficie A de radiación equivalente se define como:

$$A = \pi a (b + e)$$

y el radio

$$r = \left(\frac{a(b+e)}{e}\right)^{\frac{1}{2}}$$

En el informe final de las medidas deberá incluirse la siguiente información:

1.- Descripción del espacio donde se efectuaron las medidas (naturaleza y dimensiones del suelo, paredes y techo, descripción de los objetos próximos existentes, etc).

2.- Descripción de la fuente de ruido (dimensiones, características, situación, tipo de montaje, condiciones de funcionamiento, etc).

3.- Descripción de las condiciones ambientales (viento, humedad, temperatura, campos eléctricos y magnéticos).

6.- Situación de las posiciones de medida.

7.- Tipo y número de serie de los equipos de medida utilizados.

8.- Niveles medidos en cada punto de medida con la máquina en condiciones normales de trabajo.

9.- Niveles de ruido de fondo en cada punto de medida.

10.- Correcciones realizadas.

11.- Fecha y hora de las medidas.

8.1. INTRODUCCION

De forma sencilla se dice que un cuerpo vibra cuando tiene un movimiento oscilante, consecuentemente los parametros que definen una vibración son la amplitud, la velocidad y la aceleración del mencionado movimiento.

Si se supone el caso más sencillo, esto es una vibración totalmente sinusoinal se tendra estas tres -- ecuaciones:

- desplazamiento : $x = A \operatorname{sen} \omega t$
- velocidad : $v = A \omega \cos \omega t$
- aceleración : $a = - A \omega^2 . \operatorname{sen} \omega t$

Consecuentemente existe la relación entre los tres parametros

$$|a| = |v| . \omega = |x| . \omega^2$$

Las unidades de medida de las vibraciones son las que corresponden a desplazamientos, velocidades y aceleraciones esto es, cm. cm/seg y cm/seg^2. Sin embargo también se utilizan las siguientes:

- La aceleración se mide en "g", esto es se toma como referencia el valor de la gravedad.
- Niveles de vibración expresado en decibeles, para lo cual se definen unos valores de referencia. En la Tabla 6.8.1 se muestran la definición y los mencionados valores de referencia,
- El Pal, que es magnitud que mide la sensación de la vibración. En la Figura 6.8.1 se muestran - las curvas de igual intensidad de sensación y en la Tabla 6.8.2 la relación entre valores de las vibraciones en pales y las sensaciones.

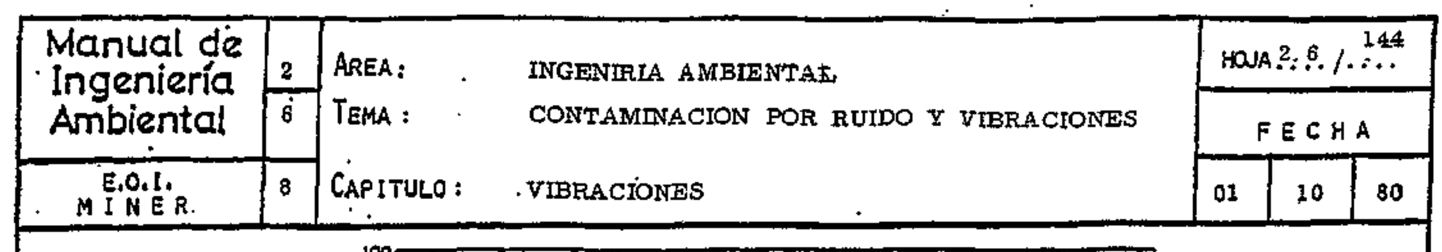
NIVELES DE VIBRACIONES Y VALORES DE REFERENCIA (Tabla 6.8.1)

Nivel de aceleración de vibración	$L_a = 20 \log \frac{a}{a_o}$	$a_o = 10^{-5}$ m/s^2
Nivel de velocidad de vibración	$L_v = 20 \log \frac{a}{v_o}$	$v_o = 10^{-8}$ m/s
Nivel de desplazamiento de vibración	$L_d = 20 \log \frac{d}{d_o}$	$d_o = 10^{-11}$ m

8.2. EFECTOS DE LAS VIBRACIONES

Los efectos de las vibraciones producidas por las distintas fuentes podrán agruparse en:

- Efectos en el hombre.
- Efectos en edificios.
- Efectos en máquinas.



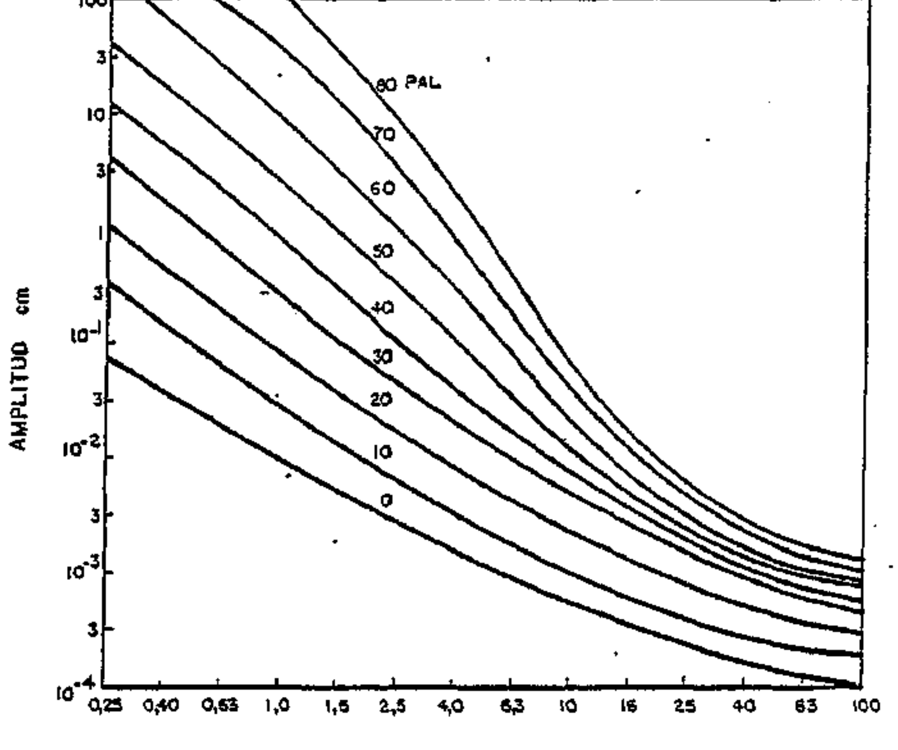


Fig. 6.8.1 Curvas de igual intensidad de sensación

8.2.1. Efectos sobre el hombre

El cuerpo humano puede considerarse, de manera simple, como un modelo mecánico elástico de masas y amortiguadores. Para niveles bajos de vibración y para bajas frecuencias este modelo mecánico toma la forma que se muestra en la Figura 6.8.2

En este sistema ocurren resonancias entre:

- 3-6 Hz para el sistema abdomen-tórax.
- 20-30 Hz para el sistema cabeza-cuello-hombros.
- 60-90 Hz para los globos oculares.
- 100-200 Hz para el sistema mandibula-cráneo.

Para frecuencias superiores el modelo anterior deja de ser representativo. Usando modelos más complicados, parece ser que el modelo de vibración fundamental para el cráneo está comprendido entre 300-400 Hz.

Además de estas respuestas "mecánicas" del cuerpo humano a las vibraciones, existirán otra serie de efectos: así:

- Las respuestas subjetivas, tales como molestia y malestar varían ampliamente según la susceptibilidad del individuo.
- Exposiciones prolongadas producen fatiga: sin embargo, ésta también se produce si los valores de la vibración exceden niveles de aceleración de 1 g, aun para cortas exposiciones.

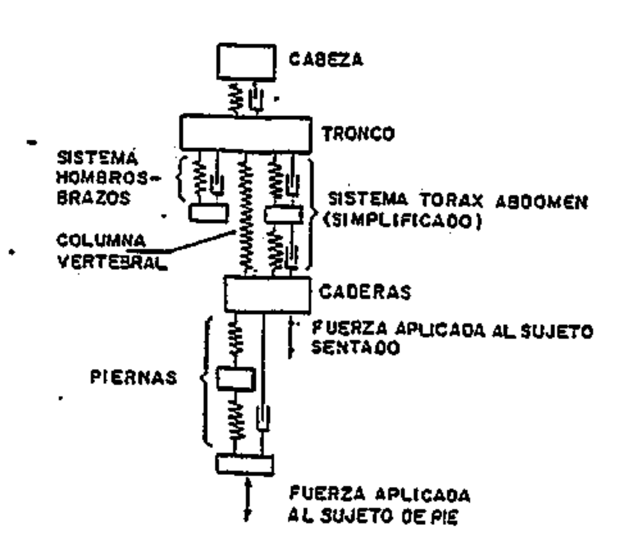


Fig. 6.8.2 Modelo mecanico simple del cuerpo humano

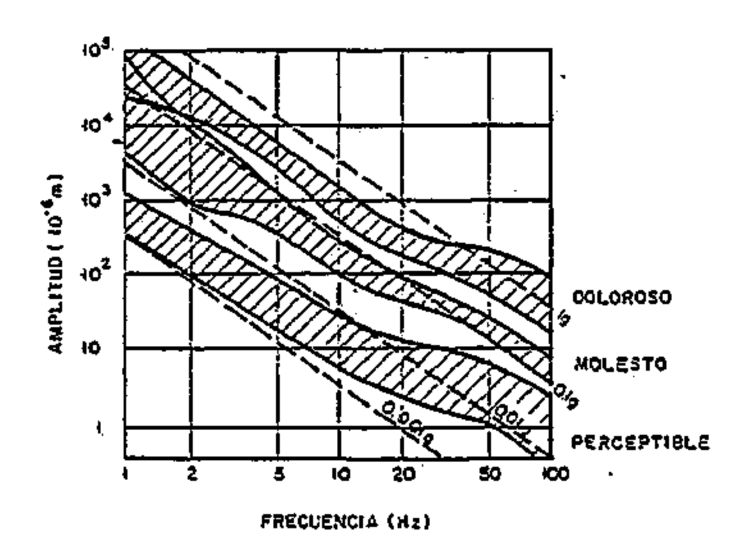


Fig. 6.8.3 Reacciones humanas a las vibraciones

No se dispone de suficientes datos que relacionen los efectos de las vibraciones con la eficiencia en el trabajo por debajo de los niveles dolorosos.

- Indirectamente, y debido a la molestia, pueden existir modificaciones en la productividad.
- La respuesta del individuo frente a las vibraciones difiere notablemente según la posición en que se encuentre y según la zona en que reciba la excitación.

La Figura 6.8.3 presenta las reacciones del individuo según la frecuencia y amplitud de las vibraciones.

8.2.2. Efectos en edificios

En general, puede establecerse que el riesgo de daño en edificios sólo existe si los niveles de vibración son peligrosos para los individuos que habitan en ellos.

La Figura 6.8.4 presenta los efectos de las vibraciones en estructuras. En general, dichos efectos tienen poca importancia, salvo en casos muy determinados; por ejemplo, las vibraciones producidas por el paso de trenes, por grandes prensas, etc.

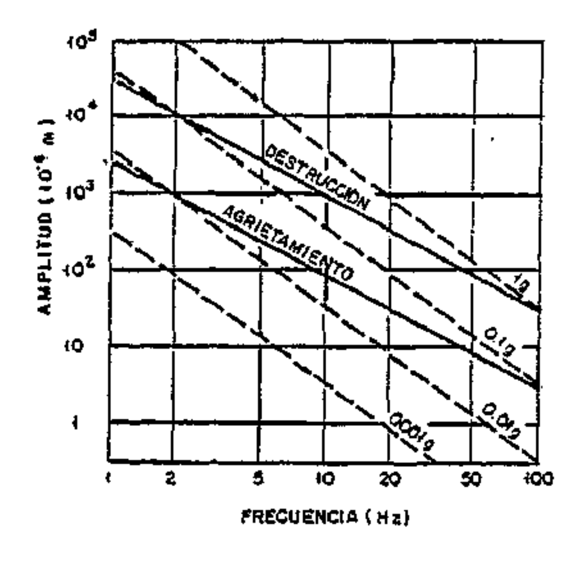


Fig. 6.8.4 Efectos de las vibraciones en estructuras de cemento y ladrillo

8.2.3. Efectos en máquinas

El efecto de las vibraciones en las máquinas comprende:

- Daño de las máquinas.
- Interferencia en su operación y rendimiento.

La mayor parte de los datos de que se dispone sobre el efecto y tolerancia de las máquinas a las vibraciones están basados en las excitaciones producidas por ellas mismas.

La Figura 6.8.5 muestra los niveles normales de la amplitud de la vibración para el funcionamiento óptimo de las máquinas.

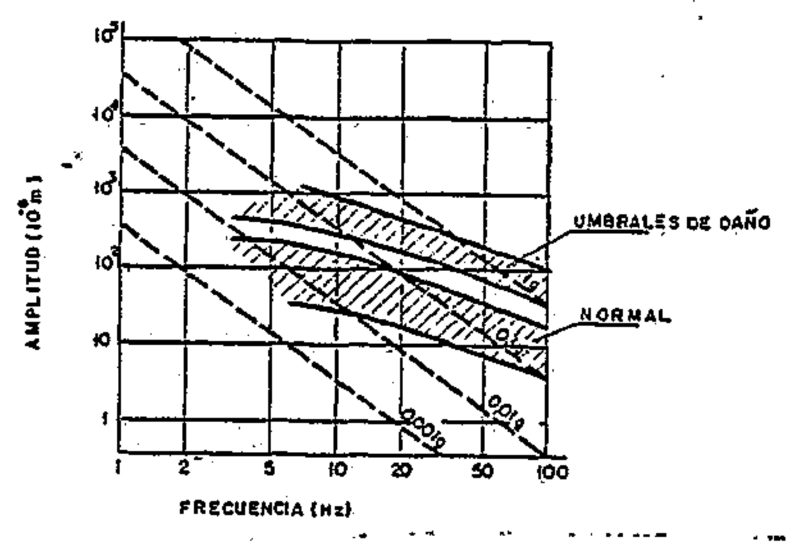


Fig. 6.8.5 Efectos de las vibraciones en máquinas

El umbral de riesgo de daño coincide, excepto para bajas frecuencias, con los niveles que causan molestia en el individuo.

En ocasiones son las vibraciones producidas por un equipo las que producen daño en otro próximo o acoplado a él. Tal ocurre entre los transformadores y los ventiladores de refrigeración asociados a ellos.

Instrumentos de laboratorio, tales como balanzas, galvanómetros, etc. pueden dar resultados erróneos si no se han instalado sobre elementos antivibradores.

8.3. CRITERIOS DE VIBRACIONES

La norma ISO 2631/1974 constituye una de las primeras recomendaciones internacionales publicadas sobre los niveles permisibles de vibraciones. Esta norma considera exclusivamente las vibraciones transmitidas a todo el cuerpo desde la superficie que lo sostiene, definiendo unas curvas de niveles limites en función de la frecuencia, nivel y tiempo de exposición.

Esta norma fija una dosis de vibración que depende de los factores: dirección, nivel, frecuencia y tiempo. Igualmente la norma considera tres niveles distintos:

a) límite de reducción del confort.
b) límite de la reducción de la capacidad de fatiga
c) límite de exposición.

La relación entre estos niveles es : b = 3,15 a ; c = 2 b.

En las Figuras 6.8.6 y 6.8.7 se muestran las curvas que señalan los máximos niveles permisibles.

8.4. CONTROL DE VIBRACIONES

Se define la transmisibilidad de un sistema antivibratorio, T, como la relación:

$$T = \frac{\text{Fuerza transmitida}}{\text{Fuerza de excitación}}$$

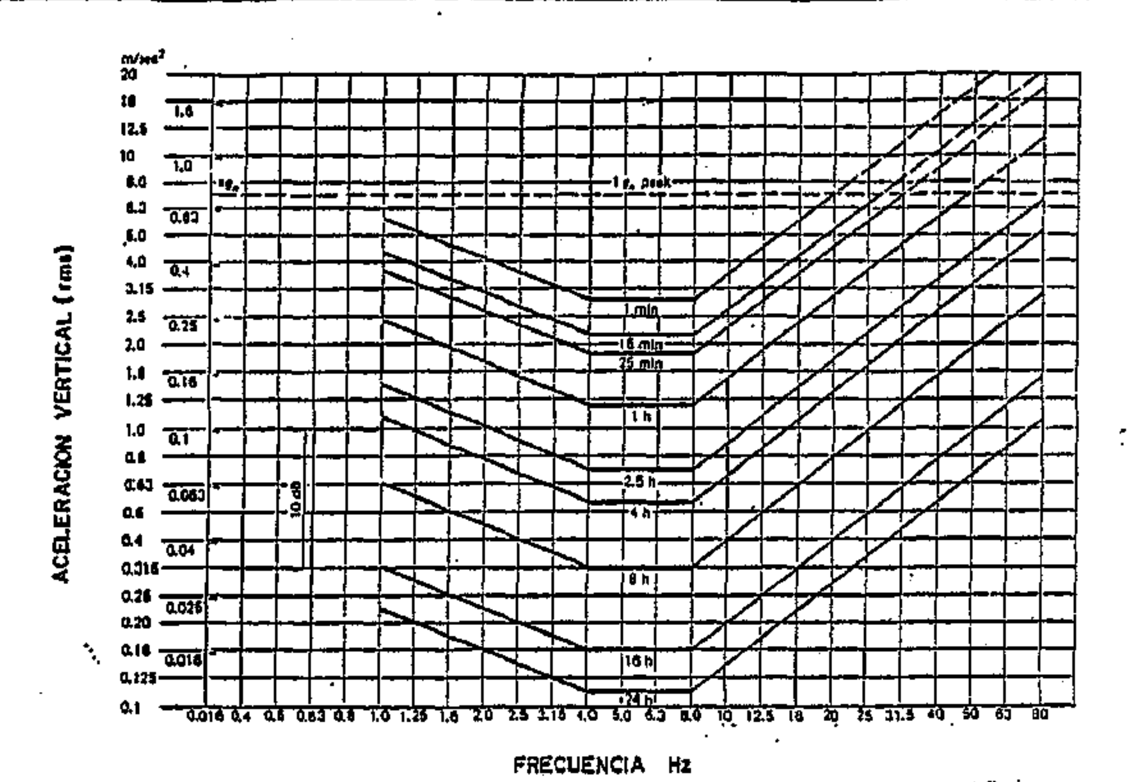


Fig. 6.8.6 Limites de exposición

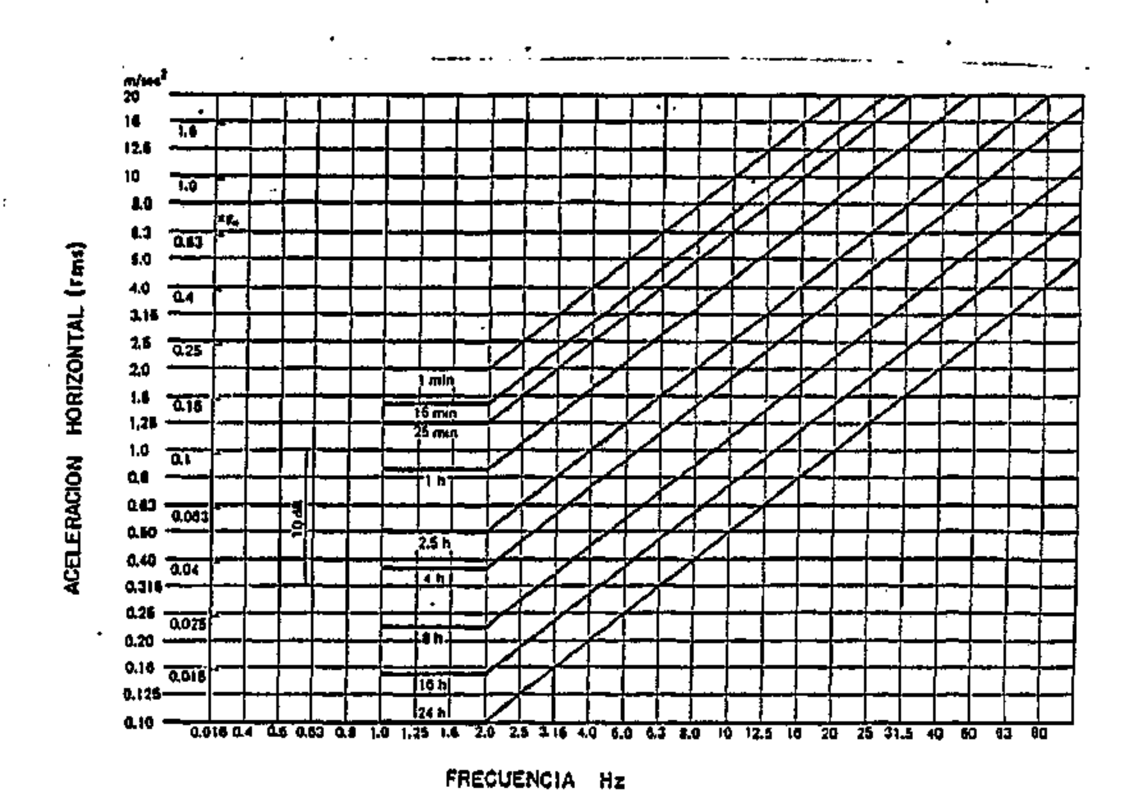


Fig. 6.8.7 Limites de exposición

En el caso de sistemas con poco amortiguamiento (muelles de acero) la transmisibilidad tiene la expresión:

$$T = \frac{1}{1 - (\frac{f}{f_o})^2}$$

donde

f = frecuencia de la fuerza de excitación, Hz
f_o = frecuencia natural del sistema, Hz

La frecuencia natural o de resonancia esta dada, en función de la deflexión que se produce en el sistema antivibratorio por la acción del peso que soporta este (deflexión estática, δ), por la expresión:

$$f_o = \frac{15.8}{\sqrt{\delta}}$$

donde δ está expresado en mm.

La función de las características operacionales, la frecuencia natural es

$$f_o = \frac{1}{2.\pi} \cdot \sqrt{\frac{K}{m}}$$

donde: K es la constante elástica del sistema, N/m
m es la masa, Kg

En los sistemas con amortiguamiento, la ecuación que permite el cálculo de la transmisibilidad es:

$$T = \sqrt{\frac{1 + 4 D^2 (\frac{f}{f_o})^2}{(1 - (\frac{f}{f_o})^2)^2 + 4 D^2 (\frac{f}{f_o})^2}}$$

Siendo D la relación entre los amortiguamientos presente y crítico del sistema.

En la Figura 6.8.8 se presenta la variación de la transmisibilidad con la frecuencia para un sistema antivibrador simple (muelle-masa) con diversos grados de amortiguamiento.

Según la Figura 6.8.8 los sistemas antivibradores deben elegirse de forma que la frecuencia de excitación sea mayor que $\sqrt{2}$ veces la frecuencia de resonancia propia del sistema.

Con respecto al amortiguamiento del sistema se puede establecer:

- Cuanto más debil sea el amortiguamiento, mejor es la atenuación a la frecuencia de excitación.
- Cuanto más debil es el amortiguamiento, más grande es la ampliación a la frecuencia de resonancia.

Otros aspectos generales a considerar en las acciones de control de vibraciones son:

- Los amortiguadores formados por materiales tipo goma, deben emplearse para deflexiones estáticas de hasta 10-15 mm; para valores mayores se emplearán muelles.

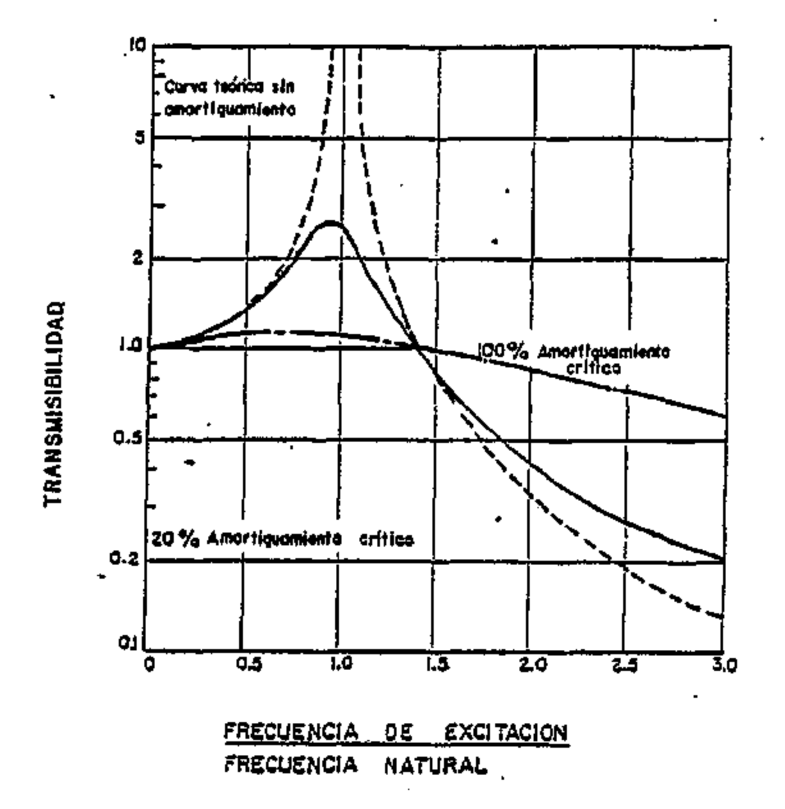


Fig. 6.8.8 Variación de la transmisibilidad con las frecuencias para un sistema antivibrador simple.

- Para el amortiguamiento de vibraciones de alta frecuencia debe considerarse que estas son fácilmente transmitidas por los muelles metálicos, consecuentemente estos deben descansar sobre láminas de goma o estar recubiertos de ella.
- La respuesta del sistema antivibratorio no es siempre lineal con la carga.
- Las propiedades elásticas varían con el tiempo.
- En el caso de instalar varios amortiguadores en una fuente de vibraciones, deberá descansar sobre cada uno de ellos el mismo peso a fin de que el sistema esté equilibrado.
- En el caso de que la fuente de vibraciones descanse sobre otro sistema más o menos elástico (por ejemplo: una máquina rotativa sobre una estructura metálica) deberá considerar la elasticidad de éste. En la práctica debe tenderse a que la frecuencia natural del amortiguador sea al menos la mitad de la frecuencia natural del sistema soporte.
- Deben evitarse las uniones, sujeciones, etc. que crean puentes, reduciendo consecuentemente la efectividad del sistema amortiguador.
- En toda instalación de elementos antivibradores debe cuidarse que los soportes de la máquina tengan adecuada rigidez contra la flexión y la torsión.
- En aquellos casos en que los centros de gravedad tengan una situación irregular que impide la correcta instalación de los antivibradores originando el desplazamiento de éstos (y consecuentemente la creación de momentos con relación a los apoyos), deberan instalarse bancadas entre la máquina y los antivibradores. El calculo de estas últimas se realizará de acuerdo con las leyes de la mecánica dinamica, tomando como base los pesos, las fuerzas, los momentos y las amplitudes de oscilación permitidas para las máquinas.
- Algunas máquinas requieren estudios cuidadosos, especialmente en los regimenes de puesta en marcha

o parada. En efecto, en estas condiciones la velocidad de la máquina (y también su frecuencia de excitación) variará desde 0 hasta las condiciones de regimen. En consecuencia, existirá una resonancia instantanea al coincidir las frecuencias de la máquina con las de los sistemas antivibradores; esto originará un desplazamiento anormal de las máquinas. Para evitar este fenomeno, y cuando sea necesario, se utilizarán antivibradores por puntos, con frecuencias propias distintas.

En la Tabla 6.8.2 se presentan las características generales de los materiales comunmente empleados como elementos antivibradores.

TABLA 6.8.2

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS COMO ELEMENTOS AISLANTES DE VIBRACIONES

Tipo	Frecuencia natural, Hz	Deflexión estática, mm	Comentarios
Corcho, Fieltro Lama mineral	10 - 45	2,5 - 0,1	El corcho presenta un comportamiento imprevisto con aceite y agua. Estos materiales se comprimen con el peso.
Cauchos naturales y sinteticos	30 - 5	0,3 - 10	El caucho natural se deteriora con el aceite y el ozono. El neopreno es más resistente al aceite. Todos estos materiales son afectados por las altas temperaturas.
Muelles metalicos	7 - 2	5 - 60	No son atacados por el agua o el aceite. Tampoco les afecta las altas temperaturas.
Neumaticos	3 - 1		Normalmente estan controlados para mantener una altura constante

TABLA 6.8.3.

ESCALA PAL

0 a 10 pal	Umbrales de percepción, según la posición del cuerpo
10 a 20 pal	Percepción general.
20 a 30 pal	Sacudidas de tráfico en edificios, molésto para el hombre.
30 a 40 pal	Vibraciones en vehículos que van despacio, sacudidas de tráfico y màquinas molestas para el hombre; daños ligeros en edificios.
40 a 50 pal	Vibraciones en vehículos, aceleraciones de ascensores; daños graves en edificios.
50 a 60 pal	Sacudidas fuertes en vehículos soportables corto tiempo por el hombre sin trastorno; destrucción de edificios.
60 a 80 pal	Trastornos síquicos para el hombre, mareos, dolores táctiles para altas frecuencias.

1.- " Física y técnica de la lucha contra el ruido". G. Kurtze. Ed. Umo

2.- " Manual de medidas acústicas para el control de ruido". W. Bürk. Ed. Blume

3.- " Manual del umbral de ruido". Harris Ed.

4.- " La acústica en la edificación". R. Posse. Ed. G. Gilli.

5.- " Cahiers O.M.S." A. Bell.

6.- " Medidas de ruidos acústicos. Acústica arquitectónica". Bruel y Kjaer.

7.- " Noise and vibrations control". Ll. Beranek. Mc Graw Hill Ed.

8.- " Acoustics, niose and buildings". Parkin y Humpareys. Ed. Fasa.

TEMA 7

RADIACTIVIDAD

ELABORADO POR:

ELENA CASTRO MARTÍNEZ

M. FERNANDA SÁNCHEZ OJANGUREN

EN BASE A APUNTES DE CLASE DE:

M. ALICIA CREPÍ GONZÁLEZ

VICENTE MOLINA PINEDA

M. FERNANDA SÁNCHEZ OJANGUREN

INDICE

	Pag.
1.- INTRODUCCION. UNIDADES	1
2.- FUENTES DE RADIACTIVIDAD	3
3.- RADIACIONES IONIZANTES	9
4.- ENERGIA NUCLEAR	17
5.- LEGISLACION	40
6.- BIBLIOGRAFIA	45

En el marco de un curso de Ingeniería Ambiental, el estudio de la radiactividad desde el punto de vista de la contaminación, sólo tiene sentido si se refiere a las radiaciones ionizantes a que el hombre está sometido y cuyo origen no reside en la Naturaleza, sino en procesos o aplicaciones médicas, militares, industriales, etc; es decir, cuando las mencionadas radiaciones son producto de la actividad humana.

Para analizar el problema de la contaminación radiactiva es preciso revisar una serie de conceptos básicos:

El átomo está constituido por un núcleo donde reside la casi totalidad de la masa del átomo y toda la carga positiva; una nube electrónica constituida por los electrones orbitales, cuya carga negativa equilibra la positiva del núcleo y radiación visible y radiación X que se producen por el salto de los electrones de una órbita a otra de menor potencial.

Un núclido es una especie atómica individual caracterizada por un valor Z (nº de protones) y un valor A (nº másico, suma de protones y neutrones). A los distintos núclidos de un mismo elemento químico se les agrupa bajo el nombre de isótopos, teniendo todos ellos el mismo nº atómico y diferente número másico.

Se denomina "radionúclidos" a aquellos átomos cuyo núcleo es inestable y se desintegran emitiendo radiaciones nucleares α, β y γ, pasando de este modo a estados de mayor estabilidad.

Radiación α: es de naturaleza corpuscular. Las partículas α son núcleos de átomos de helio y su carga eléctrica es positiva.

Radiación β : está constituída por electrones libres, por lo que su carga eléctrica es negativa y posee diferentes energías.

Radiación γ : es de naturaleza electromagnética, o fotones de alta energía que tienen su origen en las transiciones nucleares. Es una emisión no corpuscular.

El poder de penetración de las tres radiaciones sigue el orden siguiente: $\gamma > \beta > \alpha$.

La desintegración se produce en cadena hasta llegar a un elemento estable.

Para caracterizar el fenómeno de la radiactividad, se requiere conocer una serie de parámetros:

Constante de desintegración radiactiva (λ): Es una medida de la probabilidad de desintegración de una especie radiactiva. Es característica de cada radionúclido y su valor permanece invariable sea cual fuere el estado físico o químico del elemento y a cualquier temperatura y presión.

Actividad de una muestra: Número de desintegraciones por unidad de tiempo.

Periodo de semidesintegración ($t_{1/2}$): Es el tiempo necesario para que el número de núcleos radiactivos de la especie considerada -o su actividad- se reduzca a la mitad de su valor inicial. Este inter-

valo de tiempo es independiente de la cantidad de radisótopo presente. Es característico de cada radionúclido.

Tiempo de vida media de un átomo aislado (τ): tiempo que, por término medio, tarda en desintegrarse un átomo. El periodo de semidesintegración es igual al producto de 0'693 por el tiempo de vida media.

Unidades de actividad

La principal es el Curio, que equivale a $3'7 \cdot 10^{10}$ desintegraciones por segundo. Los submúltiplos que se emplean con más frecuencia son el microcurio ($1 \mu Ci = 10^{-6} Ci$) y el picocurio ($1 pCi = 10^{-12} Ci$).

Las unidades de actividad cuantifican la emisión de la fuente radiactiva, pero no los efectos sobre la sustancia irradiada, que son diversos dependiendo del tipo de radiación, distribución espacial de la energía liberada en el recorrido, calidad de la radiación, etc.

Unidad de dosis absorbida.

Sirve para evaluar la energía cedida al material irradiado; es decir, la absorbida por éste. Se denomina rad y equivale a 100 ergios de energía absorbida por cada gramo de sustancia irradiada.

Dosis equivalente

Dado que 1 rad de diferentes tipos de radiación no produce idénticos efectos sobre el cuerpo humano, se introduce el concepto de dosis equivalente, que permite establecer comparaciones de los efectos biológicos producidos por los diversos tipos de radiaciones.

La unidad de dosis equivalente es el rem, que se define como el efecto biológico de 1 rad de rayos γ. Asímismo, se define el "factor de calidad Q" para cada clase de radiación, que multiplicado por la dosis absorbida, da la dosis equivalente.

Submúltiplos más utilizados:

$1\, mrem = 10^{-3}$ rem.

$1\, \mu rem = 10^{-6}$ rem.

El origen de la radiactividad puede ser bien natural o bien artificial, dependiendo de que resida en el propio universo o de que se produzca por el progreso del hombre.

2.1. NATURAL

En la Naturaleza se han encontrado aproximadamente 340 núclidos, de los cuales 70 son radiactivos. Todos los elementos de número atómico mayor que 80 tienen isótopos radiactivos. Estos radionúclidos naturales se encuentran distribuidos en la corteza terrestre, en el espacio atmosférico, en el cuerpo humano, en las aguas y en los alimentos.

Entre ellos cabe destacar:

- Las series del Uranio y del Torio.

Tabla 7.2.1

	Tipo de Emisión	Vida Media
V_{238}	α	$4'5 \times 10^9$ años
Th_{232}	α	$1'4 \times 10^9$ años
Ra_{226}	α y γ	1622 años
Ru_{222}	α y γ	3'8 días

Existen en abundancia en la tierra, por ello la radiactividad de la corteza terrestre está fundamentalmente asociada a ellos y a sus productos de desintegración, en especial al ^{226}Ra.

El Uranio se encuentra en las rocas graníticas (4ppm), en los fertilizantes a base de fosfatos (30-120 ppm), principalmente y en pequeñas cantidades en el hombre (100-120 μg). La entrada y desasimilación diaria de Uranio de un hombre es de 1 μg.

El radio 226 es químicamente semejante al calcio y por tanto pasa del terreno a las plantas y de ellas a muchos alimentos. Se encuentra en los cereales, harinas, leche en polvo, pescado, vegetales, carne, en concentraciones de 60, 13, 2, 2, 0'7, 0'5 pCi de actividad/100 gr. respectivamente. Se calcula que una persona puede ingerir al año 639'5 pCi de Radio 226 en los alimentos normales (1pCi= $=10^{-12}$Ci). Se acumula en los huesos y la actividad generada está entre 17 y 39 pCi, salvo en zonas del mundo de gran radiactividad natural en que puede llegar a 270 pCi.

- El radio ^{226}, por desintegración α, da lugar al radon ^{222}, gas inerte emisor α γ, que pasa del terreno a la atmósfera a razón de 1pCi/m^2·sg. aproximadamente. La concentración de radon en la atmósfera es muy variable y puede pasar al organismo por inhalación quedando retenido en el pulmón.

Otra fuente de Ra226 son las aguas minerales de muchos manantiales, que pueden contener hasta 100 pCi/l, lo que equivale a un millón de veces el contenido del agua potable corriente.

- El potasio posee tres isótopos, de los cuales el K40 (emisor β con una vida media de $1'3.10^9$ años) está en una proporción del 0'01%. El mecanismo por el cual llega al hombre es a través de las plantas, que a su vez lo han asimilado del terreno. Un hombre de 70 Kg. de peso, tiene 140 gr. de potasio total, es decir, 0'1 μCi de potasio 40.

La energía de la emisión β del K40 y su abundancia, hace de este emisor el mayoritario en la alimentación y en el cuerpo humano.

Así mismo, el agua del mar contiene K40 en concentraciones de aproximadamente 300 pCi/l.

- El Carbono 14 es un radionúclido emisor de β, cuya vida media aproximada es de 5-600 años; se forma en la alta atmósfera a partir del N 14 mediante reacciones inducidas por radiación cósmica. Esta radiación tiene su origen fuera del sistema solar y sólo una parte procede del Sol. En su recorrido hasta la tierra sufre modificaciones y desviaciones producidas por la atmósfera y el campo magnético terrestre. En ella influyen los trastornos solares, los vuelos comerciales y espaciales.

- El Sodio 24 se produce por la radiación cósmica y es arrastrado por el agua de la lluvia; las concentraciones observadas están comprendidas entre 0'08 - 0'16 pCi/l de sodio 24; emite radiación β y γ, y su periodo de semidesintegración es de 15 hr.

La dosis media de radiación de origen natural recibida por el hombre, considerando que varía mucho de unos sitios a otros, se puede considerar entre 100 y 130 mrem al año. La distribución de esta dosis dependiendo del origen se encuentra esquematizada en la tabla 7.2.2.

Tabla 7.2.2.

ORIGEN	m.rem al año
Potasio 40	20
Emisores de la cadena U 238	15
Emisores de la cadena Th 232	29
Radiación cósmica	39
TOTAL	103

Por todo lo anteriormente expuesto se puede afirmar que en cualquier lugar del mundo existe un nivel de radiación natural o "FONDO NATURAL", sin necesidad de que lo cree la actividad humana. El fondo natural es detectable y medible y no es constante sino que varía de unos lugares a otros.

Por esta causa, la contaminación radiactiva debe considerarse como el valor añadido al fondo natural.

2.2. ARTIFICIAL

Otra parte de las fuentes radiactivas son las radiaciones ionizantes cuyo origen no reside en la naturaleza, sino en procesos o aplicaciones médicas, militares, industriales, etc.

Aplicaciones médicas

- Diagnóstico por rayos X: Esta aplicación es muy importante cualitativa y cuantitativamente, debido a que el 90% de toda la exposición a radiaciones humanas ionizantes creadas artificialmente, proviene de este empleo.

En paises desarrollados viene a ser de unos 40-50m.rem/año, valor promedio por persona.

Si se compara con los 100m.rem/año de fondo natural, se puede observar su importancia.

Por ello es aconsejable, con el fin de que la dosis recibida sea mínima, mejorar la técnica de empleo, limitar la extensión examinada y limitar el número de exámenes, en lo posible.

- Radioterapia: Puede ser externa o interna. Las dosis empleadas son muy fuertes, pero dado el carácter de los pacientes, no debe considerarse como un problema colectivo.

- Diagnóstico por Radisótopos : Puede ser de consideración en el futuro.

Utilización industrial de radisótopos.

Tanto los utilizados en la industria como los empleados en la medicina se fabrican en reactores nucleares de investigación, activando materiales en el flujo neutrónico del reactor.

Se aplican en:

- Detección de incendios.
- Eliminadores de electricidad estática, para protección de incendios.
- Radiografía industrial.
- Pararrayos ionizantes.
- Trazadores.
- Etc.

Su empleo está regulado por la ley.

La radiografía industrial tiene una gran importancia pues su aplicación permite delimitar zonas, ensayar blindajes de transportes y de recintos, así como comprobar el desarrollo correcto de operaciones. Se puede aplicar in situ y en taller, en la primera se utiliza una fuente de radioisótopos, y no rayos X.

El manejo indebido puede provocar peligro tanto para el radiólogo como para el personal en general.

Todas las aplicaciones de Radisótopos están reguladas por la ley.

Irradiación de alimentos.

Se emplean los Radisótopos para la conservación de alimentos, no causando ningún efecto nocivo sobre el alimento irradiado, siempre y cuando la aplicación sea correcta.

Fabricación de armamentos nucleares.

Se trata de una industria completa que incluye minería, procesos radiactivos, enriquecimientos, reactores, manejo de residuos, efluentes radiactivos, evacuación y almacenamiento de residuos, etc.

Las pruebas de armas nucleares realizadas en espacios abiertos son muy contaminantes, los productos contaminantes se extienden en la atmósfera y estratosfera y repercuten en zonas incluso muy lejanas a la explosión, las explosiones confinadas son menos contaminantes en alcance.

Los radionúclidos esparcidos por megatón son:

Núclido	Vida media	MCi
Sr 89	53 días	20
Sr 90	28 años	0,1
Zr 95	65 días	25
Ru 103	40 días	18,5
Ru 106	1 año	0,29
I 131	8 días	125
Cs 137	30 años	0,16
Ce 131	1 año	39
Ce 144	290 días	3,7

La parte que va a la estratosfera puede permanecer allí muchos meses. La permanencia media de polvo en la atmósfera es de 1 mes. Los residuos pueden caer sobre los vegetales y el terreno y entrar en las cadenas alimenticias del hombre. El Cs 137 y Sr 90 son los más importantes debido a sus vidas medias. El C 14 ha aumentado considerablemente en la biosfera por la acción de neutrones sobre el N de la atmósfera durante la explosión.

Producción de energía.

- Combustión del carbón. Los carbonos contienen pequeñas cantidades de radio, torio y uranio. Algunos lignitos pueden llegar a tener 1.800 ppm de U. Los gases generados en la combustión del carbón son pues radiactivos. Aún suponiendo una elevada eficacia de separación (90%) de cenizas volatiles, el público de la zona batida por los gases de chimenea de una central de carbón de 1000 Mw puede quedar sometido a una dosis anual por este concepto del orden de 40 m. rem/año. Este problema es menor en el caso de la utilización de electrofiltros con una eficacia superior al 99%.

- Centrales Nucleares. En las centrales nucleares se utiliza como fuente de energía la liberada en la fisión de los átomos pesados. Esta energía calorífica desprendida se utiliza para producir vapor de agua que al incidir en sistemas mecánicos (turbinas) generan energía eléctrica.

En la fisión del nucleo inestable se libera:

a) Energía, que se manifiesta en forma de calor.

b) Radiaciones ionizantes.

c) Neutrones libres, que son útiles para iniciar la reacción en cadena.

d) Fragmentos de fisión, en general radiactivos, son mucho más ligeros.

Las reacciones nucleares se llevan a cabo en reactores nucleares, donde se verifican las reacciones de fisión nuclear entre materiales fisionables y neutrones.

Los reactores nucleares pueden ser de dos tipos:

1.- Reactor de Potencia: Es el utilizado en las centrales nucleares, el calor generado es utilizado para producir vapor.

2.- Reactor de Ensayo: Se utiliza para la investigación, la enseñanza, la irradiación de materiales, la fabricación de Radisótopos ., etc.

En las distintas etapas de puesta en marcha, funcionamiento, y mantenimiento de los reactores nucleares se originan fuentes de radiación, a continuación se detallan las principales:

- La mineria: Uranio y Torio.
- Los procesos de preparación de minerales de elementos fisionables.
- Los procesos de enriquecimiento del uranio en el isótopo V 235.
- Los procesos de preparación del combustible nuclear.
- La radiación directa del reactor.
- La radiación procedente de los productos de fisión y de sus descendientes.
- La radiación procedente de los productos de activación y de sus descendientes.
- La radiación procedente de los elementos transuránidos y sus descendientes, que aparecen en el reactor. p.e. plutónio.

Luego, en definitiva, los radionúclidos artificiales son los transuránidos y muchos de los contenidos en los productos de fisión.

Son artificiales pues aparecen en el momento de la creación de reactores por el hombre, pues hasta entonces su presencia en la naturaleza era escasísima.

• Varios.

En este apartado se encuentran fuentes tales como la televisión (0'1 m.rem), los relojes fosforescentes (1 m.rem), los viajes en avión (0'05 m.rem), etc.

2.3. BALANCE DE RADIACION RECIBIDA POR EL HOMBRE

Datos tomados de "The National Radiological Protection Board" del Reino Unido (Revista ATOM, Febrero 1979). Se considera de la radiación promedio per cápita a toda la población del Reino Unido.

FUENTES	m. rem/año	Porcentaje
Fondo Natural	110	67,6
Aplicaciones Médicas	50	30,7
Pruebas de Armas Nucleares	0,99	0,6
Fuentes Diversas	0,8	0,5
Trabajos en las Industrias Nucleares y Radiactivas	0,77	0,45
Residuos Radiactivos	0,22	0,15
TOTAL	162,78	100

3.1. DEFINICION. MECANISMOS. CARACTERISTICAS.

Se consideran radiaciones ionizantes a las producidas en la desintagración de radionúclidos, es decir, de átomos cuyo núcleo es inestable y evolucionan a estados de mayor estabilidad mediante la emisión de radiaciones.

Son pues las radiaciones α, β, γ, X y los neutrones. Cada una de ellas tienen mecanismos diferentes de interacción con la materia. Esquematicamente estos mecanismos son:

- Particulas con carga (α y β)

A. Ionización por arranque de electrones orbitales.
B. Radiación de frenado.

- Radiación electromagnética (γ y X)

C. Efecto fotoeléctrico.
D. Efecto Compton.
E. Producción de pares.

- Particulas sin carga (neutrones)

F. Absorción
G. Dispersión

La ionización puede ser directa o indirecta. Directamente se produce por los mecanismos A y C, e indirectamente por los mecanismos E y F.

A continuación, en la tabla 7.3.1 se extractan las principales características de las radiaciones ionizantes.

TABLA 7.3.1.

TIPO	CARACTERISTICA FISICO-QUIMICA	PODER PENETRACION	BLINDAJE	NOCIVIDAD
α	Elevada masa, Carga eléctrica (+). Energía elevada. Nat. corpuscular.	Escaso	Papel	Alta sobre todo en caso inhalación.
β	Pequeña masa. Carga eléctrica (−). Energía variable. Nat. corpuscular.	Intermedio	Agua Aluminio	Menor que α, es imp. interna y externa.
γ	Nat. electro-magnética.	Grande	Plomo Hormigón	Menor que β, pero mayor penetración interna y externa.

Tabla 7.3.1. (Continuación)

TIPO	CARACTERISTICA FISICO-QUIMICA	PODER PENETRACION	BLINDAJE	NOCIVIDAD
X	Nat. electro-magnética	Intermedio	Plomo Hormigón	Menor que β, pero mayor penetración interna y externa.
Neutrones	Masa elevada. Sin carga eléctrica.	Grande	Plomo Hormigón	Gran nocividad y poder de penetración.

3.2. VIAS DE ACCION DE LA RADIACTIVIDAD.

La radiactividad puede actuar desde el exterior o desde el interior del organismos vivo. En el primer caso puede existir un campo de irradiación producido por una fuente de radiación. Pero también puede producirse esta irradiación externa por inmersión del organismo en una atmósfera contaminada por gases radiactivos. El acceso al interior del organismo se produce por inhalación de gases, vapores o pequeñas particulas suspendidas en el aire, por ingestión a través del tubo digestivo o por penetración a través de heridas o inyecciones. De todos estos posibles riesgos, el de mayor importancia es la inhalación, seguido por la ingestión.

Más difícil es la posibilidad de ingerir aguas o alimentos contaminados por productos radiactivos. De especial importancia es el tritio, isótopo del hidrógeno, que se incorpora con gran facilidad a los ciclos biológicos, mediante un proceso de intercambio con el hidrógeno constituyente de las moléculas orgánicas. Sin embargo, su radiotoxicidad es muy pequeña y no es motivo de preocupación en este sentido. Otros elementos, procedentes de la activación de elementos estables, se descargan en mucha menor proporción y siempre en concentraciones muy alejadas de las admisibles. En cualquier caso hay que considerar la posibilidad remota de que la radiactividad se concentre en peces y plantas, lo que se controla mediante las oportunas investigaciones y medidas.

Las radiaciones ionizantes más importantes por irradiación externa son: γ y neutrones, β, α, (orden de importancia); y por irradiación interna: α y neutrones, β, γ (orden de importancia).

3.3. EFECTOS

Tanto la ionización de átomos como la producción de átomos excitados son los dos mecanismos que por efecto de la radiación ionizante producen situaciones energéticas extrañas al organismo celular.

La entrada al organismo puede ser a través de:

- La piel
- El tracto respiratorio
- El tracto digestivo.

La salida del organismo se produce por:

- Desintegración radiactiva. Depende mucho de la vida media del radionúclido.

- Procesos de desasimilación fisiológica que es característica de la desasimilación del elemento químico considerado.

Por efecto de la radiación de los iones dan lugar a elementos más activos llamados radicales libres; en el caso de que, por ejemplo, esto suceda en el organismo humano, uno de sus componentes fundamentales, el agua, puede verse afectado de la siguiente manera:

$$H_2O + \text{radiación} \longrightarrow H_2O^+ + e^-$$
$$H_2O + e^- \longrightarrow H_2O^-$$
$$H_2O^+ \rightleftarrows H^+ + OH$$
$$H_2O^- \rightleftarrows OH^- + H$$
$$H + O_2 \text{ disuelto} \longrightarrow HO_2$$

Luego estos radicales libres alteran la composición del medio intercelular, causando graves perturbaciones.

Se considera sobredosis a la dosis en exceso de las producidas por el fondo natural.

Los efectos de la radiación dependen de la dosis recibida, de si la radiación es interna o externa, del individuo que la recibe, de su edad y de la forma de recepción. Dependiendo del tiempo de exposición, la sobredosis puede ser aguda ó cronica, según se reciba en un espacio de tiempo breve o en forma habitual a lo largo de meses o años.

Los efectos pueden ser: inmediatos que son importantes sólo en caso de fuertes sobredosis agudas ó tardíos que pueden retrasarse varios años a la recepción de la sobredosis aguda o crónica.

En la tabla 7.3.2. se recogen los efectos inmediatos de sobredosis agudas.

TABLA 7.3.2.

Dosis en m.rem	EFECTOS PRINCIPALES
25.000	No hay efectos clínicos. Detectables unicamente mediante métodos especiales.
50.000	Pequeños cambios en la composición sanguinea. No se observan otros efectos.
100.000	Náuseas y fatigas.
200.000	Los mismos efectos más acentuados.
300.000	Nauseas y vómitos. Muerte en un 20% de los casos, en un més. Recuperación en 3 meses de un 80% de los casos.
400.000	Muerte en un 50% de los casos, en un mes.
600.000	Muerte en el 100% de los casos prácticamente.

Los primeros síntomas pueden presentarse en 30 minutos o menos para dosis muy grandes, y a las 2 ó 3 horas para dosis menos grandes.

Los efectos pueden ser somáticos y genéticos:

- Los somáticos.- Se manifiestan en enfermedades o transtornos en el sujeto que recibe la sobredosis.
- Los genéticos.- Se manifiestan potencialmente en la descendencia del sujeto que recibe la sobredosis.

En cuanto a la sobredosis crónica cabe destacar que, de acuerdo con la experiencia, aquellas personas que reciben frecuentes sobredosis crónicas vigiladas, dentro de los márgenes establecidos por las normas de protección radiológica, no sufren ningún efecto nocivo subsecuente en su salud.

Es importante destacar que si bien toda radiación ionizante produce un efecto detrimental sobre el ser vivo, éste tiene una apreciable capacidad de recuperación. Esta teoría está de acuerdo con el hecho de la supervivencia a través de siglos de irradiación natural, e incluso la capacidad de evolución en épocas remotas, en las que se supone que el fondo natural era superior en varios órdenes de magnitud al actual.

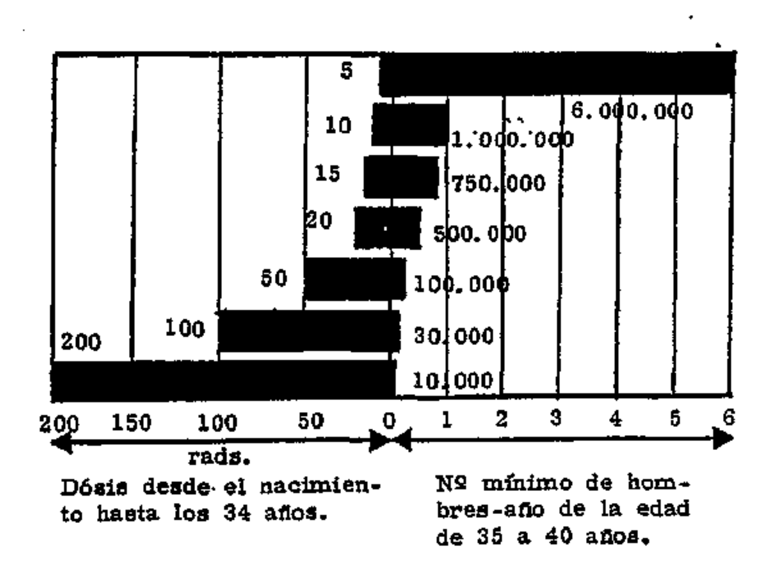
Los efectos somáticos observados procedentes de sobredosis agudas o crónicas, con efectos retardados son:

- Cáncer de huesos, pulmón, tiroides.
- Cataratas.
- Leucemia
- Leucopenia
- Anemia
- Acortamiento de vida.

Investigación sobre los Efectos Psicológicos de las Radiaciones Ionizantes.

Las investigaciones de los efectos de la radiactividad sobre los seres vivos es necesariamente estadística, por ello resulta complicado. Dependiendo de la dosis de irradiación el estudio requiere una población mínima para realizarlo, esto sucede en el caso de aparición de Leucemia, como se recoge en la Tabla 7.3.3., o bien un número de generaciones para poder determinar los efectos genéticos.

Tabla 7.3.3.



Como se ve, a medida que las dosis son más pequeñas, es necesario mayor número de personas. Dentro del valor de las dosis normales, habría que estudiar a varias decenas de millones de personas.

El volúmen de investigación, es grande y costoso, está basado en:

- Experiencias con animales.
- Supervivientes de la guerra nuclear.
- Accidentes
- Trabajos radiactivos.

Los efectos genéticos se pueden producir al sufrir los genes cambios estructurales, por acción del calor, de las radiaciones ionizantes y de los agentes químicos.

Los genes que han sufrido cambios estructurales o mutaciones pueden manifestar cambios en la descendencia. Muchas mutaciones son recesivas, persisten de generación en generación, pudiendo llegar a ser tan numerosas que la probabilidad del encuentro en el proceso de la reproducción, con cambio en las características del individuo, sea apreciable. No tódas las mutaciones son perjudiciales, pero pueden serlo (malformaciones congénitas por ejemplo). El daño genético a la población depende del número total de genes mutantes producidos: Dósis a las gónadas per capita. Esta dosis, teniendo en cuenta la probabilidad de reproducción de los diversos miembros de la población, se denomina "dosis significativa desde el punto de vista genético".

En el caso de que exista un contaminante dentro del organismo, irradia a éste, mientras permanezca en él. Lo normal es que cada contaminante se fije preferentemente en un tipo de órganos. Ejem.:

Pu y Sr ⟶ Huesos

I ⟶ Tiroides

No es pues suficiente tener en cuenta la dosis a todo el cuerpo, sino la dosis a los distintos órganos para la evolución de la situación.

La investigación en curso trata de cuantificar el efecto en función de la dosis acumulada, dentro de las limitaciones impuestas por muchas otras variables. Se encuentra en estudio si la respuesta es lineal o sigmoide y si existe umbral o no. En la figura 7.3.1. se representa el caso de efecto sigmoide con umbral (A) y el caso de efecto lineal sin umbral (B).

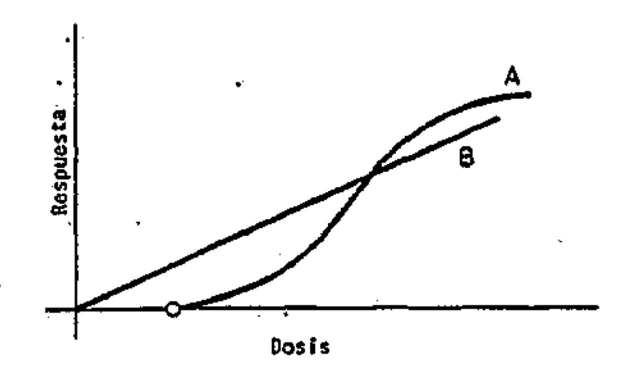


Figura 7.3.1.

3.4. DETECCION. MEDIDA. DOSIMETRIA

Fundamentos

Muchos aparatos de detección y medida de las radiaciones ionizantes se basan en la ionización que dichas radiaciones producen en una cámara conteniendo un gas y dos electrodos, a los cuales se aplica una tensión exterior. La radiación ioniza el gas, organizándose una corriente de iones que se mide, amplifica, etc, en un circuito exterior. En esto se basan:

- Camara de ionización
- Contador proporcional
- Contador Geiger Müller (G.M.), llamado simplemente Geiger.

Otros aparatos, los contadores de centelleo, se basan en que las radiaciones nucleares al ser recibidas sobre determinadas sustancias producen una excitación de átomos, que al desexcitarse emiten impulsos luminosos que se reciben en el cátodo de un tubo fotomultiplicador, produciendo un correspondiente impulso de tensión por cada fotón recibido.

Los dosímetros de película se basan en el ennegrecimiento que experimenta una película fotográfica al ser expuesta a la radiación, protegida de la luz por un chasis opaco. El chasis es de unos cm^2 y lleva diversas ventanas con diversos blindajes para distinguir zonas expuestas a betas o gammas. Revelada la película, la densidad del ennegrecimiento mide la radiación acumulada recibida por la misma. Los neutrones dan trazas visibles al microscopio.

Los dosímetros de lectura directa "de pluma" (tamaño pluma estilográfica) son condensadores que se cargan inicialmente. La radiación ioniza la cámara y el condensador se va descargando. La divergencia de las armaduras disminuye y se puede leer. Los dosímetros "de pluma" análogos a los anteriores se cargan a unos 150 V. Al final del trabajo se lee la carga residual en un electrómetro. El grado de descarga depende de la radiación acumulada recibida.

Los dosímetros TLD (Termoluminiscent dosimeter) se basan en sustancias que al ser calentadas emiten una luminiscencia tanto mayor cuanta mayor haya sido la radiación acumulada por el aparato. Son pequeños aparatos muy portátiles y de excelentes resultados.

Objeto

No tratamos aquí de la instrumentación de reactores nucleares, ni de procesos radiactivos, sino de la protección ambiental y personal.

Los objetivos son:

- La vigilancia del aire y del agua.
- La vigilancia de la radiación en zonas, áreas o recintos.
- La vigilancia de presencia de contaminantes sobre personas, ropas, utensilios, etc., para evitar que la contaminación salga de las zonas controladas.
- La vigilancia de la contaminación de terrenos, flora y fauna salvaje, cultivos, alimentos, leche, etc.
- La vigilancia de la "carga" de radionúclidos en el cuerpo humano.
- El registro sistemático de radiación recibida por los trabajadores en industrias radiactivas o nucleares.

La detección.- Sólo cualitativa, no pretende medir sino detectar si en un recinto el nivel radiactivo es superior al esperado como normal, o si la ropa o la piel de una persona están o no contaminadas al final de un trabajo. O si las herramientas están o no contaminadas.
Ideal el Geiger.
Hay que fijar un nivel o tarado.

La medida de nivel de radiación.- En un recinto, para planificar una actuación. En la proximidad de una máquina o paquete.
Ideal: Instrumentos portátiles, como el "cutie pie" para β y γ, parecido a una pistola.
Escala corriente en mrem/h.
En medidores de neutrones la escala puede estar en flujo neutrónico (neutrones/cm^2 seg) o en mrem/h.

Vigilancia de contaminantes en el aire.- Partículas radiactivas asociadas o no al polvo. Filtración por ventilador muestreador a través de papel de filtro. Después se mide ("cuenta") la actividad del filtro y se conoce además el volumen de aire muestreado. Resultado: actividad/m^3.
Muestreadores contínuos o discontínuos. Fijos (emplazados) o portátiles.
Análogos con filtro de carbón activo que retiene el yodo, para medir concentración de éste.

Vigilancia de radiación ambiental.- Aparatos generalmente fijos emplazados, o portátiles sobre vehículos. Red española.
Unidad mrem/h, o mrem acumulados por registro. Indicadores o registradores.

Vigilancia de aguas.- Por muestreo y laboratorio radioquímico. Por dosímetro TLD sumergido o cercano al agua.
Unidades: mrem acumulados, o concentraciones de radionúclidos por litro.

Contador de radiactividad personal.- La muestra es una persona que permanece una media hora en el contador, blindado a la radiación exterior. Se determina la "carga" del cuerpo del sujeto en radionúclidos y la naturaleza de éstos, por espectrometría. Se compara con la carga normal y se calcula la dosis de origen interno que produce la "carga".

Vigilancia de tierras, vegetales, cosechas, leche, fauna salvaje, etc.- Muestreo, preparación de las muestras en laboratorio especial. Contaje y espectrometría. Evaluación.
Alrededores de las centrales, laboratorios, etc.
Resultados en contenidos de radionúclidos por Kg. de muestra.
Comparación con valores de fondo natural.

Clases de aparatos, en general.

- Indicadores o registradores.
- Fijos o portátiles.
- De dósis instantáneas (mrem/h) o integrados (mrem) a lo largo del tiempo de utilización.

Laboratorio radioquímico y de contaje.

Preparación de muestras por métodos físicos y químicos.
Espectrometría de una muestra es la determinación del espectro, en el cual en abcisas aparecen las energías de los fotones o partículas emitidas por la muestra y en ordenadas el número de impulsos correspondiente a cada energía.

Cada radionúclido tiene impulsos de energías características. Del espectro se deduce el contenido de cada radionúclido (balance de actividad) de la muestra.

La dosimetría personal.- Se trata de determinar la dosis recibida por cada trabajador en un trabajo, en cada día, o en cada entrada a zona radiactiva.

Registro personal de dósis de cada trabajador con dosis acumuladas a lo largo del día, del mes, del año, de todos los años.

De la dosis recibida por el dosímetro que se lleva puesto, se infiere la recibida por el sujeto.

El dosímetro siempre indica radiación acumulada durante el periodo de uso, en mrem.

Se lee antes y después del trabajo y se pasa su lectura al registro personal.

Dosímetros:

- De pelícuia, para revelar y leer en periodos de 15 días o un mes.
- De pluma, para leer una vez al día o en cada trabajo.
- De lectura directa (pueden llevar incluso aviso de alarma) para poder leer en el transcurso del trabajo, y para lectura como los anteriores.
- TLD, para leer diariamente o en periodos de varios días, o con la frecuencia que se desee.

Otro empleo de dosímetros:

No situados sobre personas, sino emplazados en el campo en puntos de vigilancia ambiental, con recogida periódica y reposición.

4.1. ENERGIA NUCLEAR Y MEDIO AMBIENTE

El desarrollo de la industria nuclear, al igual que el de todas las demás actividades humanas, es susceptible de incidir en el medio ambiente. Ahora bien, mientras que la mayoria de las industrias han empezado a preocuparse del posible deterioro que producen en el medio ambiente en las últimas decadas, la industria nuclear desde su comienzo se ocupa de este tema como prioritario.

Así, aspectos tales como los riesgos que esta energía tiene para la salud y para el medio ambiente así como las medidas para evitarlos o prevenirlos, constituyen algunas de las características principales de este tipo de industria. Tanto el control riguroso a que se someten los procesos nucleares, como la continua investigación que se desarrolla para que en los procesos se genere el menor número de residuos y estos se traten y almacenen de la manera más segura, no es comparativo con ninguna otra industria.

En cuanto al impacto de la energía nuclear en el medio ambiente, la tabla 7.4.1. permite comparar los efectos ambientales de una central de carbón de 1.000 MWe con los de las centrales nucleares de la misma potencia.

TABLA 7.4.1.

EFECTOS AMBIENTALES DE UNA CENTRAL DE 1.000 MW.

TIPO	CARBON	LWBR	HTGR	LMFBR
TERMICOS				
10^5 Kcal/seg. disipados	3,75	4,86	3,6	3,3
EFLUENTES				
RADIACTIVIDAD				
10^3 curios/año	--	2,253	2,000	2,000
Contaminación del aire (T/año)				
SO_2	45.000	1.500	1.200*	--
NO_x	26.000	900	700	--
CO	750	25	20	--
Partículas	3.500	120	95	--
HC	260	9	7	--
DESECHOS (m^3/año)				
Radiactivos	--	340	280	225
Cenizas	$5,6 \times 10^3$	200*	140*	--
USO DEL SUELO (En m^2)				
Mineria	80	5,3	3,6	0,02
Emplazamientos	120-160		30-60	

* Las emisiones atribuidas a los reactores se computan a partir de la energía eléctrica utilizada en el enriquecimiento.

Como puede observarse, las ventajas nucleares se reflejan en el uso del suelo y en los efluentes, cuya cantidad es muy inferior a los contaminantes vertidos en las centrales de carbón. Sin embargo, el efecto de los contaminantes no se mide en peso o volumen, sino en la interacción con el entorno humano y sobre el hombre y su descendencia, por lo que es necesario realizar estudios profundos sobre esta cuestión al objeto de desarrollar las medidas adecuadas para la eficaz protección del hombre y medio ambiente.

El estudio de los análisis de riesgos y de la protección contra los mismos, muestra que la dósis media recibida por los grupos de individuos expuestos a los efluentes de una central nuclear es un 5% de la dósis debida a la radiactividad natural. El riesgo para la salud es estadísticamente insignificante. Asímismo, los análisis de riesgos comparativos entre la energía nuclear y los contaminantes químicos ponen de relieve el menor riesgo de esta energía para la salud humana, como también son mucho menores los riesgos profesionales en el ciclo del combustible nuclear que los riesgos derivados de la producción de energía mediante combustibles fósiles. (Tabla 7.4.2.)

TABLA 7.4.2.

EFECTOS ESTIMADOS SOBRE LA SALUD ASOCIADOS A LA PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA (1.975)

COMBUSTIBLE	KWhe x 10^9 (1975)	Nº equivalente de centrales de 1.000 KWe.	Muertes estimadas	Casos de invalidez estimados.
CARBON	844	128	1900-15000	25000-39000
FUEL	292	44	88-4400	4000-7900
GAS	297	45	6	600
NUCLEAR	168	26	18-42	130-470
TOTALES	1.601	243	2000-19000	29000-48000

En resumen todos estos estudios coinciden en destacar que la relación riesgo-beneficios de la energía nuclear es favorable a ésta.

4.2. RESIDUOS RADIACTIVOS

Origen: ciclo del combustible nuclear.

Teniendo en cuenta que los más importantes residuos radiactivos se producen en el ciclo del combustible nuclear, se procede a continuación a detallar los pasos de este ciclo (Figura 7.4.1.)

El mineral radiactivo se extrae de las minas y se somete a un proceso hidrometalúrgico del que se obtiene un concentrado de uranio. Este se transporta a una instalación, donde se purifica y se transforma en hexafluoruro de uranio. Este producto se enriquece aumentando el contenido en el isótopo fisionable ^{235}U. El hexafluoruro enriquecido pasa a óxido de uranio con el que se fabrican elementos combustibles, aptos para ser quemados en la central nuclear. Los residuos de la combustión quedan retenidos en estos elementos combustibles, y contienen una enorme cantidad de productos radiactivos y una fracción considerable de combustible no quemado, tales elementos se llevan a la planta de ree-

laboración, donde se separa el combustible no quemado, el plutonio producido, los productos radiactivos útiles y los residuos radiactivos.

Todas las etapas del ciclo del combustible suponen un cierto riesgo de contaminación radiactiva del medio ambiente.

En la tabla 7.4.3. se indican las características fundamentales de los distintos contaminantes, así como su relación con las distintas fases del ciclo del combustible nuclear.

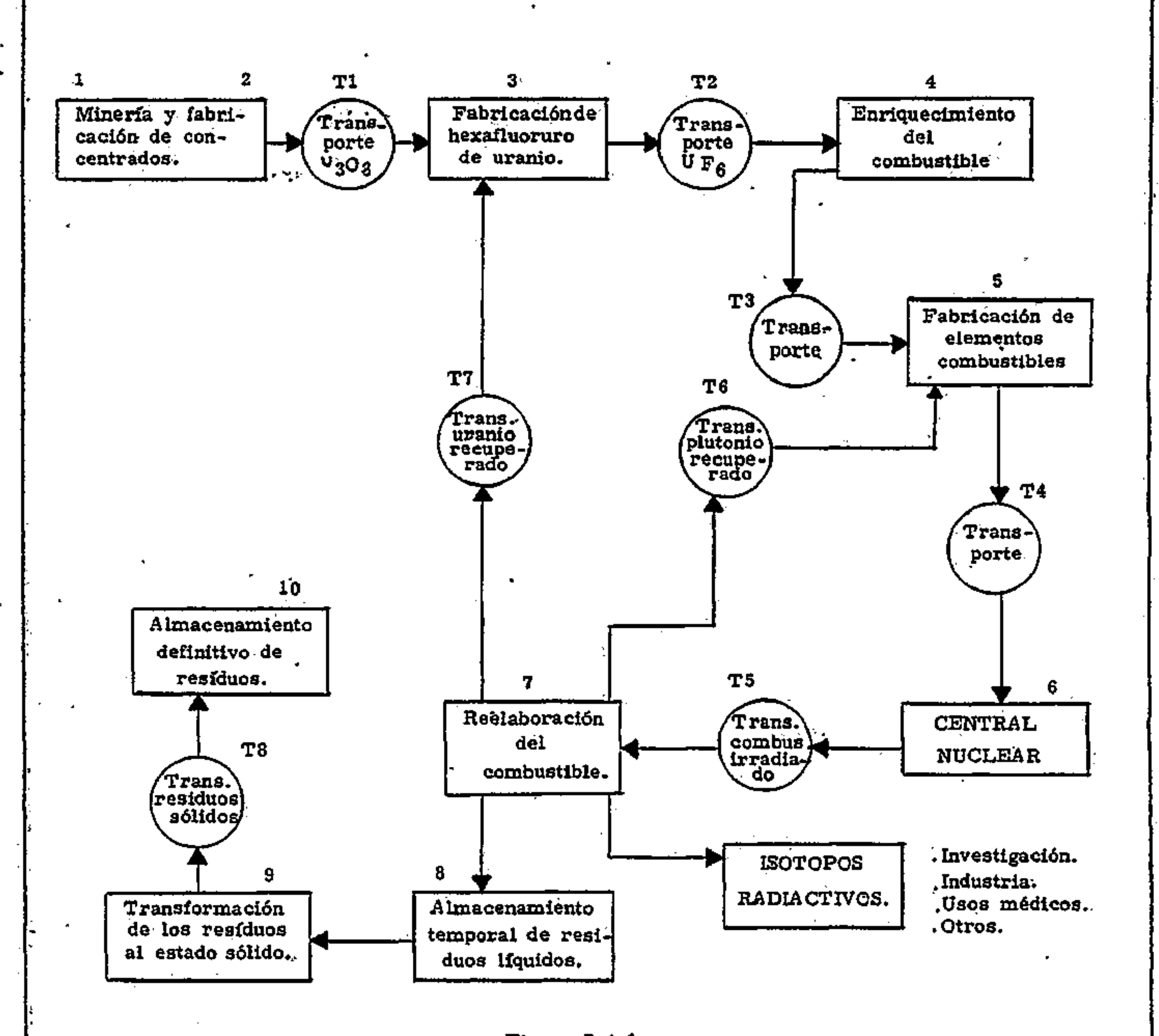


Figura 7.4.1.

CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR.

TABLA 7.4.3.

LOS CONTAMINANTES DE LAS INSTALACIONES NUCLEARES

CONTAMINANTES MAS SIGNIFICATIVOS.	CARACTERISTICAS.	TIPO DE INSTALACION					
		Minería.	Transformación	Elementos combustibles	Central Nuclear.	Reelaboración.	Almacenamiento.
H - 3	Constituyentes.				●	●	●
C - 14	materia orgánica				●		
Xe-133	Gases nobles difícil retención.				●		
Kr-85					●	●	●
Ru-222		●					
I - 129	Tiroideófilos.				●	●	●
I - 131					●	●	
Pu	Osteófilos			●	●	●	
U		●	●	●	●	●	
Ra-226		●					
Sr-90					●	●	●
Cs-137	Diversas				●	●	●
Co-60					●	●	

En el caso de la minería y fabricación de concentrados los contaminantes a considerar son naturalmente los radionúclidos naturales, en especial los isótopos del uranio y del torio y sus descendientes (Ver apartado 2). Pueden ocasionar transtornos pulmonares a los mineros si no existe una ventilación adecuada en la mina. En relación con el medio ambiente una mina de uranio no crea problemas específicos.

En el caso de las plantas de fabricación de concentrado se produce un volúmen de residuo grande, pero de una actividad muy baja.

En las plantas de enriquecimiento del combustible no se presentan problemas graves, excepto en el caso de accidentes. En estas plantas se generan hexofluoruro de uranio enriquecido y haxafluoruro de uranio empobrecido. El escape, por accidente, de hexofluoruro de uranio, podría suponer un riesgo para el medio ambiente, no sólo a causa de la contaminación por uranio, sino a causa del ácido fluorhídrico que se produciría por la hidrólisis del primero con la humedad de la atmósfera. Los efectos nocivos afectarían solamente a las proximidades del escape. Este hecho tiene más importancia en el transporte de hexofluoruro de uranio, que ha de hacerse en condiciones óptimas de seguridad, que en las instalaciones de enriquecimiento que son poco numerosas en el mundo.

Así mismo, en las instalaciones de fabricación de elementos combustibles, el contaminante de mayor importancia es el uranio enriquecido, que puede liberarse en forma de aerosol de óxido de uranio en las distintas manipulaciones. En las fábricas donde se utilice plutonio, el problema es superior debido a que la toxicidad de este es muy superior a la del uranio. El volúmen de residuos generados es muy pequeño. El único riesgo que puede considerarse es el derivado de un posible accidente de cri-

ticidad, o de un incendio o explosión que provoque la dispersión del material radiactivo; si esto ocurriese; aunque la probabilidad es remota, la contaminación del ambiente podría llegar a ser apreciable.

De la tabla 7.4.3. se deduce que los problemas más graves se presentan en las centrales nucleares y en las plantas de reelaboración.

En las centrales nucleares la radiactividad asociada al combustible se multiplica millones de veces al ser muy activos los productos de fisión que se generan en el proceso de liberación de energía nuclear. Aparte del mecanismo de fisión, también se producen radionucleidos por reacciones de activación, si bien en el equilibrio la relación entre la actividad asociada a los de activación es de mil a uno.

En una planta de reelaboración, la fuente de radiactividad es el combustible quemado que a ella llega procedente de un cierto número de reactores, si bien en este caso la actividad ha sufrido una disminución a causa de la desintegración de los productos radiactivos después del llamado periodo de enfriamiento -unos 150 días normalmente- que transcurren desde que los elementos combustibles salen del reactor hasta que entran en el proceso de reelaboración.

A las instalaciones de almacenamiento definitivo de residuos llegan los residuos sólidos procedentes en especial de las centrales nucleares y de las plantas de reelaboración. A causa del enfriamiento intermedio sólo los radionucleidos de vida larga están presentes en tales residuos.

Clasificación de los residuos.

Existe un amplio espectro de residuos radiactivos, tanto por el tipo de radiación emitida (Beta, gamma y alfa) como por su vida y estado físico y químico. Se suele hacer una categoria aparte con los emisores alfa en función de sus muy largas vidas, y sus efectos bioquímicos y genéticos. En relación con los emisores beta-gamma se acostumbra a hablar de residuos de baja, media y alta actividad. Para cuantificar estos términos es muy utilizada la clasificación del Organismos Internacional de Energía Atómica, OIEA, que se da en la tabla 7.4.4. Esta clasificación está hecha en base a la cantidad y calidad de la radiactividad contenida en los residuos, dada por unidad de volúmen o de peso, y al estado físico de los residuos, líquidos, sólidos y gaseosos.

TABLA 7.4.4.

CLASIFICACION DE RESIDUOS RADIACTIVOS.- O.I.E.A. 1970

CATEGORIA	RESIDUOS LIQUIDOS ACTIVIDAD: Ci/m^3	RESIDUOS SOLIDOS DOSIS SUPERFICIAL R/H	RESIDUOS GASEOSOS ACTIVIDAD: Ci/m^3
1	$< 10^{-6}$	$<$ 0'2 EMISO-	$< 10^{-10}$
2	$10^{-6} - 10^{-3}$	0'2 - 2 RES BETA-	$10^{-10} - 10^{-6}$
3	$10^{-3} - 10^{-1}$	$>$ 2 GAMMA	$> 10^{-6}$
4	$10^{-1} - 10$	EMISORES ALFA ACTIVIDAD: Ci/m^3	
5	$> 10^{4}$		

Esta clasificación está hecha en base a la cantidad y calidad de la radiactividad contenida en los residuos, dada por unidad de volúmen o de peso, y al estado físico de los residuos, líquidos, sólidos y gaseosos.

- **Residuos radiactivos líquidos.**

Antes de la clasificación de la OIEA, los residuos líquidos, eran frecuentemente divididos en tres categorias según su radiactividad específica: residuos de bajo nivel, intermedio y alto. Ahora bien esta clasificación era subjetiva en cada país, dependiendo de los limites establecidos que no eran los mismos al no estar definidos internacionalmente. Hoy en día aún se utiliza en algunos países. La categoría 4, que tiene un amplio intervalo, se subdivide, en ocasiones en categoria 4a (10^{-1} - 10mCi/ l) y categoria 4b (10 a 10^4 mCi/l).

- **Residuos radiactivos sólidos.**

El término residuo sólido abarca los residuos que son sólidos originalmente, como filtros y piezas de equipo contaminados, cambiadores de ión agotados, etc., y los resultantes de la conversión a sólidos de residuos radiactivos originalmente líquidos y gaseosos, que se fijan en matrices sólidas para su inmovilización mediante métodos de tratamiento adecuados.

En función del método de tratamiento, existen clasificaciones de los residuos sólidos en cuanto a la posibilidad de compresión o combustión si se les va a someter a operaciones de compactación o incineración.

Las bases más usadas en principio, para establecer las distintas clasificaciones, son:

a- Dósis de radiación en la superficie del contenedor.
b- Radiactividad por unidad de volúmen o peso.
c- Radiactividad total existente en el contenedor.

Realizar una clasificación entraña grandes dificultades, esto se debe a que el establecimiento de un sistema riguroso de contabilidad es muy difícil, principalmente por las razones siguientes:

a) Las dificultades de muestreo.

b) La forma heterogénea en que se presentan como tales residuos.

c) La falta de regularidad en su producción.

d) El hecho de su conversión por desintegración radiactiva en otros radionúclidos de propiedades distintas.

e) Las dificultades en el manejo por su radiactividad.

Las limitaciones son, a menudo tan extensas que el O.I.E.A. ha propuesto la clasificación para residuos sólidos basada en las dósis de radiación superficiales para los residuos constituidos por emisores beta-gamma y en la radiactividad contenida en el caso de los emisores alfa, pues la dósis de radiación no tiene significación en el caso de éstos núclidos por el bajo poder de penetración de las partículas alfa. Al admitir la dósis superficial como parámetro, se admiten ciertas limitaciones: a) falta de definición de la naturaleza exacta de los residuos; b) falta de correspondencia de la radiactividad contenida con la dósis al no considerarse el blindaje; c) se han dejado fuera de la clasificación

los residuos conteniendo conjuntamente emisores alfa y emisores beta-gamma.

El mayor interés de esta clasificación radica en su aplicación al transporte de estos residuos en forma sólida.

Debido a que esta clasificación no considera algunas características importantes han aparecido algunas otras clasificaciones.

En Francia, con fines de almacenamiento prolongado en sistemas superficiales y trincheras de poca profundidad, se usa una clasificación que tiene como base las concentraciones máximas admisibles (C.M.A.) de los distintos isótopos. Atendiendo a cada isótopo particular, un residuo es de categoria alta, media o baja, según el número de CMA a que equivale su radiactividad en un volúmen dado. Esta clasificación tiene la ventaja de dar una idea sobre la toxicidad; pero con la dificultad de identificar necesariamente los nucleidos radiactivos contenidos.

En la tabla 7.4.5. se da una propuesta de clasificación para residuos radiactivos sólidos de distinta procedencia, que se basa en la radiactividad contenida y en el tipo de contenedor. Esta clasificación ha sido propuesta en la República Federal Alemana para el almacenamiento en la mina de sal de Asse.

En la actualidad la OIEA ha ultimado ya una nueva clasificación, pero no ha sido todavía dada a conocer oficialmente.

TABLA 7.4.5.

CLASIFICACION PARA LA MINA DE SAL DE ASSE. RESIDUOS DE ACTIVIDAD BAJA

RESIDUOS DE CATEGORIA "A"

Residuos sólidos anhidros, con radiactividad ligeramente ligado o libre, (Filtros de aire, papeles, ropas, cenizas, cambiadores de ión secos).

GRUPO	Contenedor / Tratamiento	BIDON METALICO	BIDON METALICO DE 200 l. CON BLINDAJE INTERIOR DE HORMIGON (e≥5cm)
1	sin tratamiento	0 Ci	0'2 Ci
2	residuos solidificados en hormigon o equivalente	0'2 Ci	1'0 Ci

RESIDUOS DE CATEGORIA "B"

Residuos sólidos anhidros con radiactividad firmemente ligada (metales activados, componentes contaminados).

GRUPO	Contenedor / Tratamiento	BIDON METALICO	BIDON METALICO DE 200 l. CON BLINDAJE INTERIOR DE HORMIGON (e≥5cm)
1	sin tratamiento	0 Ci	1'0 Ci
2	residuos solidificados en hormigon o equivalente	1'0 Ci	5'0 Ci

RESIDUOS DE CATEGORIA "C"

Residuos solidificados (barros de tratamiento químico, concentrados del evaporador, cambiadores de ión)

GRUPO	Contenedor / Tratamiento	BIDON METALICO	BIDON METALICO DE 200 l. CON BLINDAJE INTERIOR DE HORMIGON (e≥5cm)
1	fijación en materiales solubles en agua y salmuera	0 Ci	1'0 Ci
2	fijación en materiales insolubles en agua y salm.	5'0 Ci	5'0 Ci

• Residuos radiactivos gaseosos.

Dentro de los residuos radiactivos gaseosos se puede distinguir entre gases radiactivos propiamente dichos por ejemplo los gases Kripton-85 y Xenon-133, y aquellos cuya radiactividad es debida a los materiales en suspensión, por ejemplo los aerosoles.

Como en el caso de los líquidos, la clasificación de la O.I.E.A. se basa en las unidades de concentración, mCi/l o Ci/m^3.

Sin embargo, a diferencia de la clasificación para líquidos, cuando se trata de los gases, la clasificación tiene poca significación práctica.

La concentración específica tendría interés en el caso del almacenamiento pero, desde este punto de vista, los residuos gaseosos no suelen almacenarse a lo sumo se retienen un tiempo determinado hasta que decaigan, cuando se trata de nucleidos radiactivos de vida corta.

Es interesante destacar que la introducción de límites clasificatorios en la concentración de la radiactividad, no tiene importancia práctica desde el punto de vista de la operación de instalaciones donde se producen, manejan o tratan los residuos radiactivos gaseosos. Lo que interesa es cumplir las regulaciones de emisión que fijan los organismos competentes, teniendo en cuenta la zona de influencia, y que, de una u otra forma, fijan límites a la concentración y a la cantidad total de radiactividad evacuada.

Efluentes radiactivos: Difusión en el medio ambiente.

Sólo una pequeña parte de las sustancias radiactivas que se producen en el seno de un reactor nuclear durante su funcionamiento se vierte al medio ambiente.

La cantidad de radiactividad que una central nuclear puede liberar de forma autorizada en sus efluentes líquidos y gaseosos es función de las características difusoras de su entorno y de los sistemas de depuración y de retención de efluentes de los que esté dotada. Se fija de tal modo que las concentraciones de los distintos radionúclidos en el ambiente no superen en ningún caso las máximas

permitidas por las recomendaciones de la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones (ICPR) (1, 2) y por los reglamentos adicionales que los distintos países establecen a tal efecto. De ahí que las cifras puedan presentar fuertes disparidades de una central a otra central.

Los radionúclidos emitidos por las centrales se difunden a través de la atmósfera, las aguas continentales u oceánicas, el suelo, las comunidades biológicas de los ecosistemas (biocenosis) y, eventualmente, pueden alcanzar al hombre por irradiación directa, absorción, inhalación o a través de las cadenas alimentarias.

- Difusión de radionucléidos en la atmósfera.

Los radionucléidos se propagan en la atmósfera en forma de gases o de partículas en suspensión. Los riesgos potenciales de los radionucléidos aéreos dependen de la forma en que la atmósfera los difunda, diluya y deposite. Estos fenómenos pueden describirse utilizando la teoría de la difusión. Se define un factor de difusión,

$$\frac{\chi\,(x,y)}{Q}$$

Siendo: χ la concentración en el punto de deposición (x, y), dada en Ci/m^3 y Q el caudal de la fuente puntual, en Ci/s.

Esta función depende de las coordenadas espaciales, la velocidad del viento, la altura de la fuente, la turbulencia creada por los edificios, las desviaciones típicas transversal y vertical del penacho de gases, el lavado de la nube por la lluvia o la nieve, la desintegración de los radionucléidos, etc.

- Difusión de efluentes radiactivos en medio acuoso.

Existen numerosos modelos bi o tridimensionales para simular descargas de contaminantes químicos o térmicos en medios acuáticos (11, 12, 13), que en general se pueden aplicar para describir el comportamiento de los contaminantes radiactivos. Como aspectos propios se pueden citar las interacciones entre los radionucléidos disueltos, las partículas en suspensión y los sedimentos de fondo.

Las variables de las que dependen los factores de dilución o difusión en medio acuático son la morfología del medio, la dirección y caudal de las corrientes, las mareas, la turbulencia, las características de las partículas en suspensión o en disolución, la temperatura, la posición de la fuente de radionucléidos, etc.

- Difusión de radionucléidos en suelos.

La propagación de radionucléidos en suelos depende principalmente de la composición del suelo, y en particular, de la composición de la capa más superficial.

Cuando un radionucléido llega a un suelo en forma soluble o ya disuelto, puede combinarse químicamente y precipitar como óxido o como hidróxido, puede ser absorbido por partículas de arcilla, ser incorporado a las comunidades biológicas que vivan en el suelo o puede permanecer disuelto. La distribución de los distintos radionucléidos en suelos tienen un carácter marcadamente local, si no intervienen aguas subterraneas o superficiales y no se producen fenómenos de arrastre superficial por el viento; en estos últimos casos se pueden aplicar los mismos modelos que para los casos anterior-

mente descritos.

Cadenas o caminos para la propagación de radionucléidos en la Naturaleza.

En las figúras 7.4.2. a 7.4.5. se esquematizan, de forma general, los caminos de propagación de sustancias radiactivas desde su liberación de diferentes medios. Sin embargo, es necesario concretar estos caminos o cadenas de propagación para cada ecosistema en particular, teniendo en cuenta las características de sus biocenosis y de sus biótopos (factores no biológicos del ecosistema). Los rasgos socioeconómicos definitorios de las comunicades humanas que vivan en la zona estudiada serán también de mucha importancia. Es pues necesario estudiar factores tales como las cosechas, el ganado, la flora y la fauna del distrito, la meteorología y la hidrología locales, así como las costumbres y dieta de las poblaciones humanas, este se puede realizar mediante encuestas en el área tratada para completar los datos estadísticos posibles.

Los resultados de estos estudios, junto con las propiedades físicas y químicas de las sustancias radiactivas emitidas por la central o instalacion nuclear cuyo estudio radioecológico se esté llevando a cabo, así como su comportamiento biológico y metabólico, permitirá deducir cuales de las cadenas o caminos de propagación deberán ser consideradas como CRITICOS y cuáles de sus eslabones merecerán una atención más concentrada.

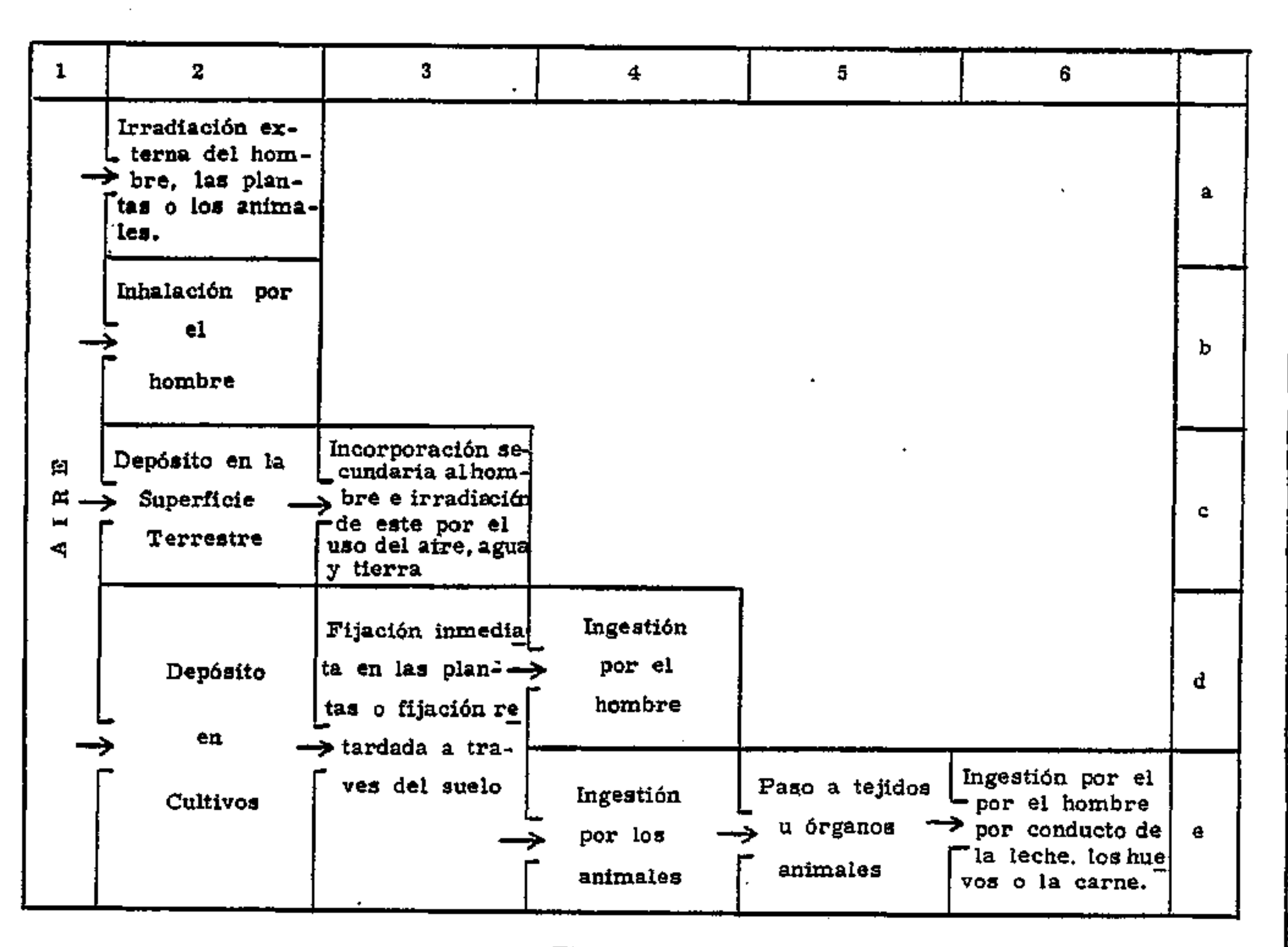


Figura 7.4.2.

Caminos de propagación de la radiactividad para desechos radiactivos vertidos en la atmósfera.

1	2	3	4	5	6	
CONTAMINACION DEL AGUA	Ingerido por el hombre					a
	Fijación inmediata en las plantas o en animales o fijación retardada a través de sedimentos o cadenas alimentarias acuaticas.	Ingestión por el hombre				b
	Acumulación en lodos, arenas o playas	Natación, deportes nauticos o pesca	Irradiación externa del hombre o por contaminación del equipo utilizado			c
	Riego	Fijación inmediata en las plantas o en sus raices o fijación retardada a través del suelo	Ingestión por el hombre			d
			Ingestión por el ganado por conducto de pastos o forrajes	Ingestión por el hombre por conducto de la leche, los huevos o la carne		e

7.4.3 Caminos de propagación de la rediactividad para desechos radiactivos vertidos en aguas continentales

1	2	3	4	
CONTAMINACION DEL AGUA	Fijación inmediata en plantas o animales o retardada a traves de sedimentos y de cadenas alimentarias marinas	Ingestión por el hombre		a
	Acumulación en lodos arenas y playas o bajos fondos batidos por el mar	Fijación inmediata en plantas o animales o retardada a traves de sedimentos y de cadenas alimentarias marinas	Ingestión por el hombre	b
	Acumulación en los sedimentos de fondo	Contaminación de los aparejos de pesca u otros equipos	Irradiación externa del hombre	c
	Acumulación en lodos, arenas o playas	Natación o deportes Nauticos	Irradiación externa del hombre, directa o por contaminación del equipo empleado.	d

7.4.4 Caminos de propagación de la rediactividad para desechos radiactivos vertidos al mar

1	2	3	4	5	
CONTAMINACION DEL SUELO	Incorporación a la atmosfera por el viento	Incorporaciones secundarias e irradiaciones analogas a las asociadas con la descarga a la atmosfera			a
	Fijación en plantas de raices profundas o en animales viviendo en madrigueras				b
	Incorporación a rios, arroyos o lagos, con los sedimentos arrastrados por inundaciones o corrientes	Incorporaciones secundarias e irradiaciones analogas a las asociadas con descargas en aguas continentales			c
	Lixiviación por infiltración del agua a la superficie	Entrada inmediata o retardada en el agua subterranea	Afloramiento a la superficie del agua subterranea	Incorporaciones secundarias e irradiaciones analogas a las asociadas con descarga aguas continent.	d
			Extracción de agua de pozos	Ingestión por el hombre	e

Fig. 7.4.5 Caminos de propagación de la radiactividad para desechos radiactivos vertidos en el suelo.

Dósis.

Los cálculos de dosis previos al funcionamiento de la instalación nuclear de que se trate, realizados partiendo de sus efluentes previstos, y de las características del medio receptor, suministran una valiosa y primera evaluación del impacto radiológico que la central en proyecto vaya a producir en sus alrededores.

Se consideran dos tipos de dósis: la dósis a los individuos y la dósis a la población. La primera es útil para evaluar los daños eventualmente sufridos por los distintos organos, incluso las del material genético de las células. La segunda es útil para prever eventuales perjuicios genéticos a la descendencia, no manifestada de forma más o menos inmediata. La población se puede dividir en grupos de edades, calculando la dósis para el individuo medio de cada grupo. Los resultados se dan en unidades rem-hombre.

Los cálculos de las dósis pueden llevarse a cabo mediante sencillas operaciones matemáticas (sumas y multiplicaciones en general), pero se requiere un conjunto bastante complejo de datos de partida, en los que aparecen las características de la central que se trate, así como los factores agronómicos, animales y humanos. Estos datos se suelen dar para cada uno de los trapecios circulares definidos por un conjunto de circulos concentricos centrados en el emplazamiento y por un haz de radios regularmente espaciados. Los círculos suelen tomarse de radio 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25 y 30 Km. Los radios suelen ser las bisectrices de los 16 rumbos de la rosa de los vientos.

En la figura 7.4.6. se presenta un diagrama para los cálculos de dósis en radiología ambiental. El esquema dado se podría complicar tanto como se quisiese, en busca de una descripción cuantitativa más detallada de la difusión de la radiactividad artificial en el medio ambiente hasta alcanzar al

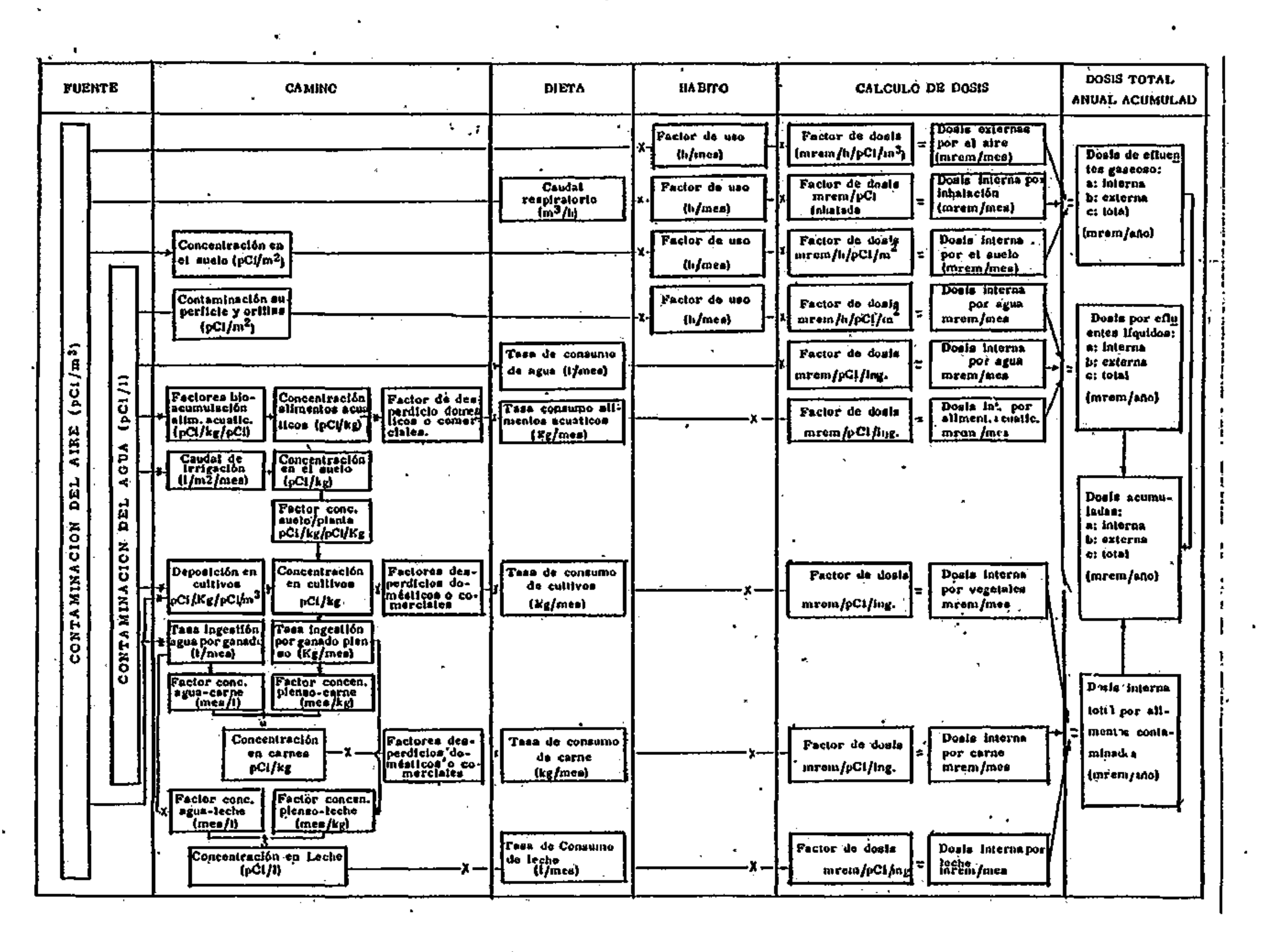


Figura 7.4.6. - Diagrama para cálculo de Dosis

hombre. Bastaría para ello aumentar en paralelo los caminos de propagación que aparecen en dicha figura.

En España la metodología de los cálculos se realiza por un sistema modular de programas, para timar la dósis a individuos y a la población asentados en los alrededores de una central nuclear.

4.3. TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Debido a que los límites legales para el vertido de residuos de la industria nuclear son muy bajos, es imprescindible tratarlos a fin de descontaminarlos ó acondicionarlos para disminuir su concentración.

El método apropiado de tratamiento depende, en principio, del estado físico del material radiactivo -líquido, sólido, gaseoso-, de su categoría en las dosificaciones propuestas y de sus propiedades fisicoquímicas.

Tratamiento de líquidos.

Se suelen basar en alguna de las operaciones que se describen a continuación o en su combinación, si los factores de descontaminación obtenidos en una sola operación no son suficientes.

Existe una serie de factores a tener en cuenta a la hora de seleccionar el método de tratamiento:

1.- Categoría del residuo.
2.- Cantidad de liquido a tratar.
3.- Posibilidad de reciclado.
4.- Presencia de sólidos en suspensión.
5.- Composición química.
6.- pH.
7.- Composición isotópica.
8.- Límites de descarga permitidos.
9.- Toxicidad no radiactiva, contenido en calor.
10- Sistema previsto para almacenamiento definitivo del producto final obtenido.

Las operaciones más usuales son:

Precipitación química .- se suele aplicar a residuos líquidos de bajo nivel radiactivo (categorías 1 y 2 del OIEA) y con alta concentración salina.

Con este sistema se alcanzan factores de descontaminación del orden de 10^2, que se pueden mejorar para algunos isótopos empleando agentes de precipitación específica, por ejemplo el Cesio-137 precipita con ferrocianuro de cobre o níquel, el rutenio -106 con paraperyodato, etc.

Consiste en utilizar reacciones de coprecipitación en condiciones determinadas de pH. En general, se utilizan agentes floculantes para facilitar la separación del precipitado. El líquido limpio, ya descontaminado, se puede evacuar si su radiactividad específica es inferior a los límites de evacuación fijados. Los lodos, que pueden contener hasta un 10% en sólido, se concentran posteriormente por evaporación, filtración, etc. y se envasan en bidones metálicos adecuados. El factor global de reducción de volumen oscila entre 50 y 500.

Evaporación.- Es un sistema ampliamente utilizado por proporcionar elevados factores de descontaminación y de reducción de volúmen. El producto final es un concentrado que contiene la casi totalidad de la radiactividad inicialmente presente, y un destilado normalmente descontaminado para su evacuación ulterior. El concentrado se mezcla con cemento o asfalto antes de ser envasado.

El factor de reducción de volúmen en evaporación oscila entre 10 y 200, dependiendo de la alimentación, y el de descontaminación entre 10^4 y 10^6. Es un método costoso.

Filtración y centrifugación.- Se puede emplear para tratar líquidos antes de su evacuación al medio, como etapa previa al tratamiento por cambio de ión o como etapa final en la separación sólido-líquido después del tratamiento químico.

La separación de los sólidos se logra por centrifugación, retención en cartuchos filtrantes o filtración mediante presión o vacío. Los cartuchos no son, en general, regenerables. Otros sistemas se pueden regenerar por lavado en sentido inverso para desprender la capa de sólidos. Los lodos de filtración, con un contenido en sólidos del 25% aproximadamente, se mezclan con cemento para solidificarlos y se almacenan en bidones metálicos.

El factor de reducción de volúmen conseguido depende del contenido en sólidos de la alimentación y el de descontaminación suele ser de 10^2 a 10^3.

Intercambio iónico.- Este sistema de descontaminación se emplea ampliamente en las actividades nucleares. Es un método para residuos con bajo contenido en sólidos y un nivel radiactivo correspondiente a las categorías 1 y 2 del OIEA. Sus principales ventajas radican en la simplicidad de equipo y operación y en la concentración de la radiactividad en un pequeño volumen de resina que se puede manejar con relativa facilidad. La principal desventaja, cuando se utilizan resinas sintéticas es su coste, aunque este aspecto se puede mejorar llevando a cabo la regeneración de las resinas.

Cuando las resinas están agotadas, al final del ciclo de carga, es posible que la irradiación procedente de las columnas sea considerable, por lo que la instalación se debe proyectar con los blindajes necesarios, así como la posibilidad de control remoto de las operaciones de descarga y envasado de las resinas.

El factor de reducción de volúmen puede ser del orden de 10^3 o mayor y el de descontaminación global de 10^2, aunque en casos específicos puede ser mayor.

Inmovilización.- En los sistemas de tratamiento de resíduos líquidos anteriormente mencionados, se obtiene como producto final un resíduo en el que se retiene la casi totalidad de la radiactividad presente en el resíduo líquido original. Usualmente, estos resíduos se inmovilizan mediante un proceso de solidificación adecuado. Al mismo tiempo, en el proceso mencionado se elimina la humedad que les acompaña; así se evitan los efectos de corrosión sobre los envases durante los largos periodos de tiempo que supone el almacenamiento.

Los sistemas de solidificación más empleados en la actualidad son:

Incorporación en cemento: Es un método simple en su operación y en equipo. Consiste en mezclar los residuos con cemento en condiciones que garanticen una buena homogeneidad del producto, que se des-

carga a continuación en envases donde fragua y solidifica.

El producto sólido obtenido puede tener buena resistencia mecánica incluso con un contenido del 20% en peso de residuos radiactivos, posee unas características de lixiviación moderada y tiene la ventaja del autoblindaje de la radiación procedente de los isótopos incluidos. La desventaja es que en esta operación se aumenta el volúmen final de residuos.

Incorporación en asfalto: Mejora algunos de los inconvenientes antes mencionados. La resistencia a la lixiviación del producto final es mayor y el factor de reducción de volúmen es de aproximadamente 2,5 veces. El contenido en sólidos del producto final puede llegar al 50% en peso. Una de las principales desventajas es el riesgo de ignición.

Incorporación en plástico: Es un sistema reciente que utiliza resinas de poliester o de urea-formaldehido para inmovilizar los residuos.

En el caso del poliéster, es preciso llevar el resíduo a sequedad. Después se añade el poliéster no saturado, líquido, que admite hasta un 60% en peso. A continuación se añade un catalizador y un acelerador de la reacción, y se produce la solidificación.

El factor de reducción del volumen es de 2 a 3. Presenta la ventaja de que se puede trabajar a temperatura ambiente. El producto final muestra buenas propiedades mecánicas y de resistencia a la lixiviación.

Conversión a sólidos de resíduos líquidos de la categoría 5.

Los resíduos de la categoría 5 se originan en las plantas de tratamiento de combustibles irradiados, constituyendo el refinado acuoso del primer ciclo de extracción con disolventes del proceso Purex. Estos resíduos contienen más del 99,9% de los productos de fisión no volátiles contenidos en el combustible irradiado, y prácticamente el total de los actínidos a excepción del uranio y el plutonio, cuya presencia es inferior al 0,5% del total presente en el combustible irradiado. La radiactividad del concentrado puede llegar a 2.000-3.000 Ci/l.

Estos resíduos constituyen el problema más difícil en la gestión de residuos líquidos ya que, dados sus altos niveles de concentración y la vida media de los isótopos que contienen, son necesarias centurias para el decaimiento total de algunos de sus componentes y milenios para otros (los actínidos).

Actualmente la única técnica razonable para el almacenamiento a largo plazo de estos resíduos es su conversión a sólidos, para reducir la movilidad y el volúmen y la optimación de las propiedades físicas y químicas del producto sólido en relación con el medio que ha de contenerlo.

Los dos métodos más desarollados actualmente son la calcinación y la vitrificación.

La calcinación se lleva a cabo evaporando los resíduos hasta sequedad y calentando el resíduo seco a temperaturas superiores a 400ºC. Puede verificarse en reactores de lecho fijo o fluidizado.

La vitrificación consiste en fabricar vidrios a partir de resíduos radiactivos. Generalmente se hacen vidrios de borosilicato o de fosfato. Los vidrios pueden contener entre 20 y 30% de óxidos de los pro-

ductos de fisión.

Tratamiento de sólidos.

El tratamiento de los resíduos sólidos tiene por objeto su reducción de volúmen, cuando es factible, y su acondicionamiento para almacenamiento a largo plazo o evacuación. Los métodos más utilizados actualmente son:

- Recogida y segregación. Esta operación, que en sí misma no es un tratamiento, es indispensable para facilitar la posterior manipulación de los resíduos.

Los contenedores de recepción han de diseñarse para evitar riesgos de irradiación y de dispersión de la contaminación. La segregación debe hacerse en la etapa más proxima a la producción y vigilando especialmente la separación de residuos α, pirofóricos, explosivos, etc.

- Compactación. Se utiliza para materiales compresibles con los que se alcanza un factor de reducción de volúmen de 2 a 10. El resíduo comprimido se embala en bidones metálicos o se forman previamente bloques con el resíduo compactado.

- Trituración. Se aplica a grandes piezas, materiales fuertemente contaminados o material de vidrio. En algunos materiales (láminas de plástico, prendas de vestuario...) el procedimiento es útil como paso previo a la compactación.

- Incineración. El empleo de este sistema en resíduos combustibles de factores de reducción de volumen de 50 a 100. Cuando se incineran resíduos de muy baja radiactividad se puede prescindir de sistemas de tratamiento de los gases de combustión. Para resíduos de mayor radiactividad, o si se forman gases tóxicos, es necesario el tratamiento de dichos gases.

Tratamiento de gases.

Hay que distinfuir los residuos propiamente gaseosos como iodo, kripton, etc. o el aire y efluentes gaseosos conteniendo partículas sólidas radiactivas en suspensión.

La separación de partículas sólidas en corrientes gaseosas se lleva a cabo con los llamados "filtros absolutos" de alta eficacia de retención (HEPA filters). Para partículas de tamaño medio de 0,3 su eficacia de separación es del 99,97%.

En el caso de los resíduos gaseosos como los gases nobles kripton y xenon, actualmente se realiza la descarga controlada, previo decaimiento de los isótopos de vida corta, a través de chimeneas y diluyendo la corriente con el aire de ventilación general.

Aunque la concentración de Kr-85 en la atmósfera no supone, ni supondrá en las próximas 2 o 3 décadas, problema alguno, se están poniendo a punto métodos de retención y separación entre los que se pueden citar:

- Adsorción física de gases nobles.
- Separación por membranas permeables selectivas.
- Absorción selectiva
- Separación por procesos criogénicos.

4.4. ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS RADIACTIVOS SOLIDOS. EVACUACION.

Los sistemas de almacenamiento de resíduos sólidos se proyectan siempre con posibilidad de intervención para retirar ~~o~~ acondicionar los resíduos debido a situaciones incidentales o variación en las condiciones del almacenamiento. Estas instalaciones están, además, dotadas de los medios necesarios de control y vigilancia, así como de medidas de seguridad para evitar la dispersión de la radiactividad al medio circundante.

No existe, en principio, ningún tipo de almacenamiento exclusivo para una categoría determinada de resíduos. Su posibilidad de aplicación depende de la ingeniería que se incorpore para aumentar su seguridad. A continuación, se describen brevemente los sistemas de almacenamiento más utilizados en la actualidad.

Almacenamiento en Formaciones Geológicas.

Existen varias opciones para el almacenamiento de resíduos radiactivos sólidos en formaciones geológicas estables. La primera son las formaciones salinas por la ausencia de agua. En la actualidad existe una mina de sal en la RFA, cuya explotación ya no es económica, que se utiliza para almacenar residuos de las categorías 1 y 2, y cuyo uso se extenderá a los de categorías 3 y 4.

Los resíduos de la categoría 1 se almacenan en compartimientos donde se apilan mecánicamente, y se cierran una vez llenos, y los de las restantes categorías en cámaras ventiladas.

Otras opciones son las rocas cristalinas, arcillas y rocas volcánicas. En definitiva, se trata de encontrar formaciones geológicas estables que en muchos casos lo han sido por millones de años, y es predecible que lo sigan siendo por algunos más. El interés principal radica en su uso para residuos de las categorías 3 y 4, aunque sirvan para todas las categorías.

Almacenamiento en Sistemas de Superficie.

Existen diferentes tipos de almacenamientos en superficie, que se utilizan dependiendo de la categoría del resíduo que se destine.

Apilamiento. Consiste en apilar los bidones sobre un suelo recubierto de asfalto o cemento. Está provisto de drenaje, acoplado a un sistema de control y tratamiento de las aguas drenadas. El apilamiento se cubre con un plástico y se recubre con tierra sobre la que se plantan arbustos adecuados.

Se utiliza para resíduos sólidos envasados en bidones metálicos o de cemento, y para los de la categoría 2 cuando estén incorporados en cemento u otra matriz sólida poco lixiviable.

Trincheras de poca profundidad. Las trincheras son longitudinales y están compartimentadas y provistas de drenaje y sistema de tratamiento de aguas drenadas, su profundidad es pequeña, de 3 metros aproximadamente. Los laterales y fondos son de placas longitudinales de hormigón prefabricado unidas con cemento. Las tapas también, y se cubren con tierra.

La colocación de los resíduos en la trinchera está mecanizada. Se puede utilizar para residuos sólidos de las categorías 1 y 2. Estos últimos no es preciso que vayan incorporados en cemento u otra materia sólida.

Almacenes. Se incluyen entre ellos todas las posibles edificaciones cuyo objeto es guardar los resíduos radiactivos de forma temporal o permanente. Pueden utilizarse para resíduos de cualquier categoría, incluso refrigeración por agua para el enfriamiento de los resíduos. Las instalaciones están provistas de sistemas de vigilancia radiológica para detectar cualquier deterioro, fuga o sobrecalentamiento de los contenedores y garantizar la seguridad.

Evacuación de resíduos radiactivos sólidos en el mar.

La Agencia de Energía Nuclear (N.E.A.) ha patrocinado y organizado diversos vertidos en el Océano Atlántico de resíduos radiactivos en forma sólida y convenientemente acondicionados, habiéndo sido aprobada esta forma de evacuación por autoridades internacionales y nacionales. Los residuos han de cumplir una serie de requisitos que aseguren su inocuidad para el medio ambiente a corto y largo plazo.

Se consideran de importancia principal las características oceanográficas de la zona de vertido, la naturaleza y radiactividad de los resíduos, el acondicionamiento de éstos y el tipo de contenedores. En general, los resíduos sólidos que se han evacuado al mar pertenecían a la categoría 1 del OIEA.

4.5. CONTROL Y PROTECCION

Los diferentes países con programas nucleares usan límites numéricos para controlar la exposición de los individuos y de la población a las radiaciones, así como para fijar los máximos de radiactividad que pueden ser legalmente vertidos al exterior por las diversas instalaciones nucleares.

Bases para la protección radiológica ambiental.

Recomendaciones del ICRP para la protección radiológica. Las recomendaciones de la International Commission on Radiological Protection (ICRP) para la limitación de las dósis se basan en tres principios fundamentales:

- Justificación de las actividades que den lugar a la exposición de seres humanos a radiaciones ionizantes.
- Optimación de los sistemas y métodos de protección, de forma que las dósis se mantengan "tan bajas como sea razonablemente posible", teniendo en cuenta las circunstancias socioeconómicas, políticas y científicas, que pueden variar considerablemente de un país a otro, y
- Cumplimentación de unos límites de dósis adecuadamente establecidos en el punto anterior.

En el caso de dósis al público en general, el ICRP estableció en 1965 que la dósis genética (anteriormente definida) no deberá superar 5 rem en un periodo de 30 años, teniendo en cuenta todas las fuentes de radiaciones distintas de las médicas y del fondo radiactivo natural local. Además se establecen los siguientes límites de dósis para individuos:

Cuerpo entero, gónadas, médula osea: 0,5 rem/año.
Piel, hueso, tiroides adulto: 3 rem/año.
Tiroides de menores de 16 años: 1,5 rem/año.
Manos, antebrazos, pies, tobillos: 7,5 rem/año.
Otros órganos: 1,5 rem/año.

En una publicación más reciente el ICPR ha cambiado sustancialmente sus recomendaciones. En el caso de fenómenos no estocásticos, se recomienda como límite una dósis máxima de 5 rem/año para órganos individuales. Si se trata de fenómenos estocásticos, se asignan factores de ponderación a los diversos órganos, con relación a irradiaciones de cuerpo entero. Para cada individuo, la suma de las dósis a los distintos órganos así ponderados no deberá superar 0,5 rem/año. Por otra parte, ya no se proponen límites para la dósis genética a la población.

Introducción a las normas para el control de las dósis ambientales por efluentes de instalaciones nucleares. Los sistemas seguidos para la limitación de las dósis o para el control de los efluentes presentan marcadas variaciones de unos países a otros, aunque las recomendaciones del ICPR son generalmente aceptadas como fuente para la elaboración de normativa.

En la mayoría de los casos, se proponen límites para las dósis que serán recibidas por causa de los efluentes vertidos al medio ambiente y para esos efluentes, mientras que otros países establecen solamente la segunda limitación.

Los criterios propuestos pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Normas para la limitación de las dósis, aplicables con toda generalidad en el país concernido.
- Estudio caso por caso de las instalaciones nucleares, fijando a continuación las limitaciones que se juzguen pertinentes, considerando los efluentes a verter y las características de los medios receptores. Este segundo criterio es implicitamente reducible al primero.

Todos los límites de dósis que a continuación veremos son muy inferiores a los propuestos por el ICRP, no superando en general el 10 por ciento de su cuantía.

En la Tabla 7.4.11. se resumen las características principales de las normas para limitar dósis por descargas ambientales seguidas por los países siguientes: República Federal de Alemania, Países escandinavos, Holanda, Suiza, Estados Unidos, Bélgica, Francia, Reino Unido e Italia, lo que representa un muestreo bastante amplio, sobre todo si se tiene en cuenta que algunos países adoptan los sistemas usados por otros con más larga experiencia en el desarrollo de las actividades nucleares.

Límites para las descargas operativas. Los límites para las descargas operativas son las especificadas en las autorizaciones de descarga otorgadas por las autoridades competentes. A las distintas normas o criterios para limitar las dósis, se ha considerado útil añadir las propuestas para controlar los efluentes radiactivos (Tabla 7.4.12.), ya que ambas están intimamente ligadas. A este respecto se consideran a continuación:

- Los métodos para establecer los límites operativos.
- Las revisiones de los límites.
- Los efluentes específicamente limitados y las unidades utilizadas para expresar esos límites.
- Las limitaciones impuestas a las descargas en períodos cortos de tiempo, y
- Los controles ejercidos para asegurar el cumplimiento de los límites.

Se puede lograr una visión global de la manera de establecer los límites operativos a través de los puntos siguientes:

PAIS	LIMITES	APLICACION A QUIEN	DONDE	ETAPA CICLO COMB.	DESCARGA UNICA F.
RFA	30 mrem/a Cuerpo Entero por efluentes gaseosos. 80 mrem/año Cuerpo Entero por efluentes líquidos. 90 mrem/a Tiroides por Efluentes Liq. Gas.	Miembros del Grupo crítico	Lugar de máxima exposición posible.	Todo tipo de intalaciones	Todas las Instalaciones que pueden contribuir
Pises Escandinavos.	10% de las recomendaciones de ICPR como límite de funcionamiento. Limites de diseño mas bajos (por fijar definitivamente).	Grupo crítico	-	Centrales de potencia	Emplazamiento
Holanda	30 mrem/a Cualquier organo (Congejo de Sanidad)	Individuos mas expuestos		Todas las instalaciones	Emplazamiento
	Gases: 5 mrem/año cuerpo entero y organos hemiepaticos 15mrem/a A otros organos Liqui: 5 mrem/a Cualquier Organo.		Vencidad del emplazamiento	Centrales de Potencia	Unidad unica de 1000Mwce
Sueza	20 mrem/a dosis ponderada para cuerpo entero	Grupo Crítico	-	Centrales de Potencia	Emplazamiento.
EE. UU	10 CFR Apendice 1. Líquidos: 3 mrem/año cuerpo entero. 10 mrem/a cualquier organo Gases: 5mrem/a Cuerpo entero 15 mrem/a Piel Iodo y Particulas: 15 mrem/a Cualquie Organo.	Individuos más expuestos	Cualquier zona no restringida	Reactores de agua ligera	una unidad
	EPA. 25 mrem/a Cuerpo Entero 75 mrem/a Tiroides 25 mrem/a Otros Organos (Excluido Rn y Descendientes)			Todas las instalaciones menos materia transp. deposit. residuos	Emplazamiento
Belgica	Para reactores de agua ligera, aplicación de las normas de EE. UU				
Reino Unido	No existen límites de aplicación General. Cada caso se estudia en particular.				
Francia	Límites para los efluentes de reactores de agua ligera. Estudio caso por caso de las Instalaciones de cualquier otro tipo.				
Italia	Dosis límite para el grupo crítico entre 5 y 10 mrem/año, implicitamente aplicados, Aunque no existe todavía limites espicificamente aplicados, y de aplicación General.				

TABLA 7.4.11 - LIMITES PARA DOSIS RADILOGICO-AMBIENTALES EN DISTINTOS PAISES.

APLICACION

PAIS	LIMITES	DONDE	CICLO COMBUSTIBLE NUCLEAR	DESC. 1 UNICA F. EMPLAZAM.
RFA	Liquidos (media anual) 1000-2000 Ci. 3-5 Ci. otros	-..	Centrales de potencia de agua ligera	Unidad unica de 1000Mwces
Holanda	Gases: (Total anual) 2500 Cigorres raros 0,25 Ci ^{131}I 1 Ci otros halogenos Liquidos: (Total anual) 10 Ci, excluido.	-	Centrales de Potencia	Unidad única de 1000 MWces
Suiza	Gases: CPM (aire) 300 Liquidos: CPM (agua) 300 Estas cantidades se reducirán de acuerdo con el primero de nucleidos prsentes	Posición de exposición máxima	Todo tipo de Instalaciones	Emplazamiento
	Gases: (Total anual) 5 Ci halogenos 80.000 Ci raros Liquidos: (Total anual) 20.000 Citrito 40 Ci otros	-	Centrales de potencia de agua ligera .	Unidad única de 3.000 Mwces (en otros lodos, los límites tendrán las correspondientes capacidades

TABLA: 7.4.12 - LIMITES PARA EMISIONES RADIACTIVAS EN DISTINTOS PAISES

a) El explotador de la instalación nuclear correspondiente propone los límites de descargas a las autoridades, que fijan sus valores máximos después de evaluar su impacto ambiental y las dósis derivadas.

b) Los límites así fijados pueden ser modificados por las autoridades en cualquier momento o después de un cierto tiempo de funcionamiento, según los países.

c) Para las centrales electronucleares, se fijan límites para los efluentes gaseosos y para los líquidos. En los primeros se especifican límites para los gases nobles, aerosoles (en algunos países para los radionucleidos con periodos de semidesintegración iguales o mayores que 8 días) e ^{131}I. En el caso de efluentes líquidos se limita la actividad global sin tritio y el tritio separadamente. A veces se incluyen limitaciones adicionales para algunos otros radionucleidos, que se consideran críticos o importantes para el hombre, como el ^{137}Cs, ^{89}Sr, ^{90}Sr, etc.

d) Todos los países considerados imponen limitaciones a las descargas en periodos cortos de tiempo para evitar que se excedan las dósis calculadas para difusiones de larga duración, a causa de emisiones más concentradas y cortas. No obstante, aparecen diferencias importantes cuando se comparan las restricciones impuestas, tanto en lo que se refiere a la actividad de los efluentes como a los periodos de tiempo considerados.

e) Los sistemas de control e inspección más corrientes son:

- Control de todos los efluentes antes de la descarga.
- Control de las descargas contínuas por el explotador de la instalación, según los métodos definidos por las autoridades competentes.
- Control de las descargas contínuas por el explotador de la instalación, bajo supervisión de las autoridades competentes.
- Vigilancia radiológica ambiental del entorno de la instalación, bajo supervisión directa o indirecta de las autoridades.

f) En el caso de que los límites establecidos hayan sido sobrepasados, las autoridades correspondientes deberán se informadas por el explotador. Después de la investigación pertinente, las medidas a tomar dependerán de la gravedad de la transgresión, pudiendo llegar al encarcelamiento de los culpables y la clausura de la instalación.

5.1. EVOLUCION DE LA NORMATIVA

La necesidad de prevenir los daños que pudieran derivarse de la utilización de la energía nuclear y de arbitrar un sistema eficaz de reparación, si pese a todas las precauciones ordenadas llegase a ocurrir, justifica la elaboración de la legislación sobre energía nuclear.

La elaboración de estas leyes, a escala internacional, ha sido fruto de una larga evolución, que comienza hace 30 años, desarrollandose en varias etapas bien definidas, adecuadas a las necesidades de cada momento, y así se prepara el camino por el que vá transcurriendo el desarrollo nuclear hasta constituir el marco jurídico en que tengan cabida los programas nucleares actuales.

En España el proceso legislativo, iniciado hace más de 30 años, sigue una evolución conforme a las necesidades de cada momento similar a la conocida internacionalmente, en la que pueden distinguirse tres etapas: 1.- Iniciación y reserva (1945-1950); 2.- Institucionalización y comienzo de regulación (1951-1964); 3.- Pleno desarrollo legislativo (1964-1980).

En el primer periodo de legislación se mantiene el secreto entorno a la misma e impide a la iniciativa privada la realización de actividades relacionadas con ella, incluida la minería de minerales radiactivos que se reserva al Estado. Estos hechos se constatan en los Decretos de 23 y 29 de Diciembre de 1948.

También este año, previendo la importancia de la investigación en materia de Energía Nuclear, se crea una Comisión de investigación que en 1949 se disuelve, siendo sustituida por otra Entidad de carácter reservado denominada Empresa de Patentes y Aleaciones Especiales (EPALE).

El segundo periodo comienza con la creación de la Junta de Energía Nuclear por Decreto-Ley de 22 de Octubre de 1951, tiene una base jurídica y económica, pero no es hasta el 17 de Julio de 1958 cuando se le dota de una personalidad jurídica propia. En esta misma ley se liberaliza la minería de los yacimientos de minerales radiactivos, aunque algunas zonas seguían reservadas a la Junta de Energía Nuclear.

En 1957 la Junta pasa a depender del Ministerio de Industria, dado que además de su carácter investigador, asesor, etc. tiene un marcado carácter industrial.

En esta década se inicia, a escala internacional, un amplio movimiento de cooperación mediante la conclusión de una red de acuerdos bilaterales, la celebración de las conferencias de Ginebra y el establecimiento de Organismos Internacionales. España establece acuerdos de Cooperación con Estados Unidos, Reino Unido y Canadá, y pasa a ser Estado Miembro de los Organismos Internacionales, como el Organismo Internacional de Energía Atómica, la entonces Agencia Europea para la Energía Nuclear de la O.C.D.E. y el C.E.R.N.

La utilización de fuentes radiactivas y aparatos generadores de radiaciones ionizantes en diversas actividades se ha extendido, así como se han intensificado las labores relacionadas con la minería, hace necesario la publicación de normas que regulen estas actividades. Así el 22 de diciembre de 1959 se publica una Orden de Presidencia de Gobierno cuyas disposiciones se refieren a la protección contra radiaciones ionizantes a la que completa la Orden de 10 de julio de 1962. Asímismo, la exten-

sión del uso de isótopos requiere que se regule más especificamente, y por ello se promula la Orden de 29 de mayo de 1961 que lega el poder de conceder autorización para la adquisición y uso de isótopos, sólamente a la Junta de Energía Nuclear.

En la década iniciada en 1960 el proceso normativo internacional en torno a la energía nuclear adquiere gran importancia. En junio de 1960 se concluye el convenio número 115 de la Organización Internacional del Trabajo, relativo a la Protección de los trabajadores contra radiaciones ionizantes.

Posteriormente, en ese mismo año, el 29 de julio, se firma en París el Convenio sobre Responsabilidad Civil en materia de energía nuclear, y cuando se renueva el Convenio sobre Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS), que se firma en Londres el 17 de junio de 1960, se incluye un capítulo dedicado al transporte de mercancias peligrosas, se incluye entre ellas a las materias radiactivas.

A estos siguieron los Convenios de Bruselas de 1962 sobre Responsabilidad Civil de Explotadores de Buques Nucleares, el Convenio de Viena de 1963 sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares, y en ese mismo año se firma en Bruselas el Convenio Complementario al de París, ambos modificados en virtud de un Protocolo Adicional que se firma en París en 1964.

España es miembro de todos estos Convenios y en 1964 promulga la ley 25/1964 sobre Energía Nuclear, en la que se regulan todos los aspectos del uso de la energía nuclear, incluidos los de responsabilidad civil por daños nucleares. Hasta ahora se han publicado el Reglamento sobre Cobertura de Riesgos Nucleares, aprobado por Decreto 2177/1967, de 22 de Julio, y el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, aprobado por Decreto 2869/1972, de 21 de Julio.

Con estas normas la base de la legislación especifica en materia de energía nuclear queda establecida. Pero en la actualidad se continua elaborando activamente nuevas normas que se ciñan estrictamente a las necesidades que van apareciendo en el desarrollo dinámico de esta industria. En esta labor participan los Organismos Internacionales competentes.

5.2. MARCO JURIDICO ESPAÑOL EN TORNO A LA ENERGIA NUCLEAR Y RADIACTIVIDAD.

La legislación vigente en España en materia de energía nuclear está constituida por un conjunto de disposiciones que a continuación se enumeran.

En el ámbito internacional España es parte Contratante en los siguientes Convenios:

- Convenio sobre Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear, firmado en París el 29 de Julio de 1960, y su Protocolo Adicional, firmado en París el 29 de Enero de 1964, en vigor desde el primero de Abril de 1968.

- Convenio Complementario al de París, firmado en Bruselas el 31 de Enero de 1963, y su Protocolo Adicional, firmado en París el 28 de Enero de 1964, en vigor desde el 4 de Diciembre de 1974.

- Convenio sobre Responsabilidad Civil en materia de Transporte Marítimo de Sustancias Nucleares, firmado en Bruselas el 17 de Diciembre de 1971, en vigor desde el 15 de Julio de 1975.

- Convenio número 115 de la Organización Internacional del Trabajo relativo a la Protección de Trabajadores contra Radiaciones Ionizantes, de 22 de Junio de 1960, ratificado por Instrumento de 28 de Junio de 1972, en vigor desde 1967.

Además de los mencionados, cabe citar otros dos Convenios Internacionales, que incluyen algunas normas referentes a esta Materia, y que son:

El Convenio sobre la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, firmado en Londres el 17 de Junio de 1. 960, en vigor desde 1. 965.

- Acuerdo Europeo sobre transporte Internacional de Mercancias Peligrosas por Carretera (ADR), al que España se adhirió por Instrumento de 19 de octubre 1. 972.

En cuanto a la Legislación nacional, su base la constituye la Ley 25/1964, de 29 de abril, el Reglamento de Cobertura de Riesgo de Daños Nucleares, aprobado por Decreto 2177/1967, de 22 julio, el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, aprobado por Decreto 2869/1972.

En la actualida siguen vigentes las Ordenes de Presidencia del Gobierno de 22 de diciembre de 1959 y 10 de julio de 1962, sobre protección contra radiaciones ionizantes.

Además de estas cabe destacar el Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas, aprobado por Decreto de 30 de Noviembre de 1961, el Decreto 792/61 de 13 de abril relacionado con la higiene y seguridad en el trabajo, o las Ordenes Ministeriales del Ministerio de Trabajo, de 12 de enero 1963, 15 de Marzo de 1965 y de 9 de Marzo de 1971, que aúnque no son especificas de la Materia contemplan algunos aspectos relacionados.

Todo este conjunto de normas que se han enumerado constituye el marco jurídico en el que se desarrollan las actividades nucleares y radiactivas en España, ambas quedan sometidas a las mismos principios, aúnque exista una diferencia en cuanto a los requisitos exigidos.

El sistema legal aludido se puede resumir en tres apartados: Designación de Organismos Públicos encargados de poner en práctica los preceptos de la Legislación nuclear y ejercer el debido control sobre las actividades Nucleares y radiactivas, regulación del control de la Administración sobre tales actividades, Instalación de un sistema especifico de responsabilidad civil. Comprende asimismo un procedimiento sancionador, gubernativo y penal, para el inclumplimiento de sus disposiciones.

Organismos Públicos

La Ley sobre Energía Nuclear establece que su ejecución corresponde al Ministerio de Industria y Energía, y a la Junta de Energía Nuclear, pero añade que esta atribución no impide la competencia específica de otros Ministerios.

Control de la administración sobre las actividades relacionadas con la utilización de la energía nuclear

Todo proceso relacionado con la energía nuclear debe su autorización por la Administración, estos procesos pueden ser instalaciones Nucleares, instalaciones radiactivas, personal que trabaja en las mismas y transporte de Material radiactivo, compete también aquella vigilar por el cumplimiento de las normas.

Instalaciones Nucleares y Radiactivas. La Ley establece las autorizaciones requeridas por estas instalaciones, y detalla su tramitación.

a) Las instalaciones nucleares, necesitan obtener sucesivamente tres autorizaciones:
- Autorización previa.
- Autoriza ción de construcción
- Autorización de puesta en ma rcha.

b) Las instalaciones radiactivas, por su enorme diversidad, han hecho necesaria su división en tres categorías, según sus características e importancia. Conforme a este criterio, las autorizaciones requeridas son distintas para cada categoría.

Las de primera categoría necesitan las mismas autorizaciones que las instalaciones nucleares, previa, de construcción, y de puesta en marcha.

Las de segunda categoría sólo requieren la autorización de construcción y de puesta en marcha.

Las de tercera categoría sólo requerirán la de puesta en marcha.

Licencias al personal de las instalaciones nucleares y radiactivas

El personal que manipule los dispositivos de control de una instalación nuclear o radiactiva o que dirija dichas manipulaciones debe estar en posesión de una licencia específica que expide la Junta de Energía Nuclear, a la vista de la titulación, experiencia, méritos y condiciones físicas y psíquicas y profesionales dels olicitante. Existen dos niveles Supervisor y Operador.

Transporte.

La autorización para el transporte de materiales nucleares o radiactivos, compete otorgarla al Ministerio de Industria y Energía con el informe preceptivo de la Junta de Energía Nuclear.

Protección contra radiaciones. Las normas vigentes son las anteriormente citadas, Ordenes de Protección, que se refieren a la protección de personas profesionalmente expuestas, poblaciones y medio ambiente.

Responsabilidad civil en materia de energía nuclear

La legislación española sobre responsabilidad civil en materia de energía nuclear se basa en los Convenios Internacionales sobre este tema suscrito por el Estado Español, cuyos principios recoge, regulando asimismo aquellas cuestiones que dichos Convenios estipulasen se seguirán por la legislación Nacional de las Partes Contratantes, se aplican también estos mismos principios a los daños que se causen por las instalaciones radiactivas o por el transporte de materiales radiactivos, que no sean sustancias nucleares, con la única diferencia de la cuantía establecida para cada caso.

1) Guía para el establecimiento de un programa de vigilancia radiológica ambiental en las zonas de influencia de las centrales nucleares. GSN-03/76 Colección de Guías sobre la Seguridad Nuclear. Junta de Energía Nuclear. Madrid, octubre de 1.976.

2) Programa de vigilancia radiológica ambiental para centrales nucleares de potencia GSN-09/78 (V. supra) Madrid, noviembre de 1.978.

3) " Energía Nuclear y radiactividad ambiental, Modelos". Medrano, G. Energía Nuclear (España), 23,120 Julio- Agosto 1.979.

4) La legislación Nuclear-Española, por Alfonso de los Santos y Luz Gorretjer. Junta Energía Nuclear. 21, 109, Sep-Oct. 1977.

AMPHLETT, C. B.; Treatment and Disposal of Radiactive Wastes. Pergamon Press. Londres (1961)

LONG, J.T.; Engineering for Nuclear Fuel Reprocessing, Gordon and Breach, New York (1967).

Management of Radiactive Wastes at Nuclear Power Plants; IAEA Safety Serie, Nº 28. Viena (1968)

Standardization of Radiactive Waste Categories; Technical Report Series. Nº 101. OIEA, Viena (1970)

GLASSTONE, S. and SESONSKE, A.; Ingeniería de los Reactores Nucleares.- Editorial Reverté, S.A.

Radiologial Health Handbook; U.S. Department of Health, Education and Welfare (Public Health Service).

Environmental Impact of Nuclear Power Plants; Editorial Pergamon Press, Inc.

LOPEZ RODRIGUEZ, M. y PASCUAL MARTINEZ, F.; Materiales Nucleares. Editado por el Servicio de Publicaciones de la JEN.

ALONSO SANTOS, A.; Introducción a la Seguridad Nuclear. Editado por el Instituto de Estudios Nucleares de la JEN.

Management of Radioactive Wastes from the Nuclear Fuel Cycle. Proceedings of a Symposium, Viena 22-26 March 1976. Editado por International Atomic Energy Agency (Viena).

Guías sobre Seguridad Nuclear (Núms. 3 y 9). Editadas por el Servicio de Normas. Departamento de Seguridad Nuclear de la JEN.

Revista "Energía Nuclear". Tomos 18 y 19. Núms.87-92. (1974).

Revista "Energía Nuclear": La gestión de los Residuos Radiactivos. Baldomero López Pérez, Leandro Ramos Salvador y Angel González de la Huebra. Marzo-Abril 1977.

Revista "Atom".-High Level Waste Management Research- James Daglish. Marzo 1979.

Revista "Atom". -Nuclear Waste Disposal- Sir John Hill. Mayo 1978.

Revista "Ingeniería Química". -La Depuración del Aire en Instalaciones Nucleares Radiactivas-. Mª Alicia Crespí González y Emilio Milla Grávalos. Septiembre-Noviembre 1975.

TEMA 8

ESTETICA - PAISAJE

ELABORADO POR:

DOMINGO GÓMEZ OREA

TERESA VILLARINO VALDIVIESO

INDICE

Pág.

1.- INTRODUCCION 1
2.- OBJETO Y ENFOQUE 3
3.- ESTUDIO DEL PAISAJE 4
4.- INVENTARIO: UNIDADES DE PAISAJE 5
5.- ACTITUDES ANTE EL RECURSO PAISAJE 6
6.- VALORACION DEL PAISAJE 7
7.- ALGUNOS METODOS 9
8.- BIBLIOGRAFIA 18

La contaminación del paisaje ha sido, y aun sigue siendo para el técnico del medio ambiente un tema menor, quizá debido a que es difícil desligar la idea de paisaje de una emoción estética, e incluso para muchos de un estado de ánimo.

Aunque el primer concepto de paisaje nace con la pintura, como una "posesión contemplativa desinteresada del mundo circundante"(1), el paisaje ha de considerarse como algo más que un sitio bonito que sirve de fondo a cosas o actividades, es: la "expresión espacial y visual del medio" (2).

La profunda transformación de ese medio, que se está efectuando en los países más desarrollados, puede suponer una importante pérdida de recursos naturales. Hasta hace muy poco tiempo esos recursos estaban representados por los ecosistemas con valores productivos, científicos, socioeconómicos etc. pero la evolución de los estudios sobre el medio ambiente ha llegado, por fin, al reconocimiento del "paisaje" como un recurso natural más. Un recurso muchas veces escaso, dificilmente renovable y facilmente depreciable: en los países densamente poblados anualmente cambian de uso miles de hectáreas, con el consiguiente deterioro del medio perceptual.

Existen numerosas definiciones y acepciones del paisaje que han ido evolucionando a lo largo de los años y que giran en torno a la consideración del mismo como un valor estetico, como un recurso, o como combinación de los elementos físicos, biológicos y humanos.

Si consideramos al paisaje como el escenario de la actividad humana, cualquier acción artificial repercute inmediatamente en los factores perceptuales, que se pueden considerar, en definitiva, como un conjunto procedente de la agregación de los caracteres físicos del medio físico, de los rasgos físicos del medio biótico, más la huella física de la lenta (hasta hace pocos años) transformación humana; en última instancia de los elementos perceptibles con la vista, siendo sus cualidades más significativas el caracter casi siempre irreversible de la destrucción de ese recurso y el caracter limitado, singular e irrepetible de muchos paisajes. Por la dificultad de medir estos valores, casi etéreos, en relación con los económicos, que son los más espectaculares, es quizá por lo que ha tardado más tiempo en ser incluidó en los estudios de planificación.

Es evidente que los valores perceptuales, bien estéticos, emocionales o culturales, representan un patrimonio natural de cada país, cuyo papel en el bienestar humano y en la calidad de vida tienen un enorme peso.

Recientemente la mayoría de los países desarrollados han emprendido numerosas investigaciones sobre el tema, dada la grave responsabilidad de su manejo tanto con vistas a su transmisión y conservación como a su tratamiento y empleo.

Pero el estudio del paisaje es muy complejo, ya que cada persona puede tener su propio concepto del paisaje de acuerdo a un sistema de valores particular, y, por tanto, con grandes dosis de subjetividad.

Sánchez de Muniaín decía, ya, en la década de los 50 (3): "Es cosa curiosa observar que esta realidad del paisaje tan accesible al hombre civilizado y tan manejada en su literatura, no ha sido hasta ahora satisfactoriamente definida, ni aún explicada. El hombre tarda mucho en darse cuenta racional y perfecta de algunas cosas que conoce ya antes intelectualmente por una especie de intención clarísima. El

concepto de paisaje es uno de estos que se van perfilando inconscientemente una generación tras otra, - hasta que cristaliza en un conocimiento propiamente científico".

Este conocimiento ha surgido ya, en parte, y en algunos países va adquiriendo caracter universal, geo gráfica y tematicamente, pero la toma de conciencia no ha pasado todavía del terreno de los principios porque no se han resuelto de una manera totalmente satisfactoría los problemas de la valoración.

Lo que empezó siendo un campo de investigación de la psicologia ambiental apuntando a la cabida per ceptual ha ido evolucionando según la formación básica de los planificadores, ecólogos y demás técnicos del medio ambiente y son muchas las teorías e interpretaciones que aparecen en la literatura exis tente sobre el tema. No obstante ningún estudio ha podido, todavía, traducir satisfactoriamente la cali dad estética, que en último termino es un valor basado en una respuesta emocional ante los estímulos del paisaje. Porque, el paisaje existe en si mismo, pero el medio ambiente no se hace paisaje hasta que el hombre no lo percibe. Estado de animo, personalidad, sexo y cultura, incluso condiciones meteo rológicas, influyen en la percepción del paisaje, aspectos estos cuya incidencia en la valoración habrá que evitar si quiere conseguirse un minimo de consistencia y objetividad

Aunque los problemas que ocasiona cualquier contaminación de los elementos tradicionales son patentes y urgente su rápida solución, las alteraciones que se efectuan en el medio perceptual tienen sentido - cuando se estudian conjuntamente con los demás elementos del medio, de los que en cierto modo son resumen y compendio para, así, conseguir una ordenación armónica del conjunto.

La presión que se ejerce, en muchos casos, sobre el paisaje, y la necesidad de que los planificadores conozcan sus características para evitar su deterioro, aconsejan que este capitulo no deba limitarse a definir los impactos que las actividades humanas: agrarias, industriales, urbanas, de recreo etc. ocasionarian en el paisaje.

La importancia del estudio del paisaje es tal que debe incluirse en todo proyecto de ordenación del territorio como un factor más, bien determinando su calidad como elemento de atracción para desarrollar ciertas actividades, como las turisticas por ejemplo, bien para adoptar medidas conservadoras.

Así, el paisaje, como expresión espacial y visual del medio, pero especialmente considerado como un recurso natural escaso y valioso, porque es útil y porque es demandable, debe tener un alto ascendiente a la hora de definir acciones -que emprender- y determinar lugares- donde localizar esas acciones.

Evaluar la calidad del paisaje de una forma real y aceptable pero especialmente determinar la capacidad paisajistica del territorio para recibir ciertas actividades, o determinar el impacto que aquellas - van a ocasionar, es el reto actual del tema.

La necesidad de su evaluación es evidente. Los métodos de valoración, y aun de descripción, no pueden estar exentos de un cierto grado de subjetividad, que se presenta, sobre todo, en la asignación de pesos o valores a los distintos elementos que constituyen el paisaje: fisiografía, vegetación, exposición etc. La existencia de una cierta subjetividad no debe ser motivo para abandonar todo intento de objetivación, sinó que nos aleja de los procedimientos de evaluación más simples. Cualquier método conlleva una base más o menos subjetiva al tomar una serie de decisiones previas como pueden ser: En la selección de objetivos, en la elección de los componentes que van a definir el paisaje, en la importancia o peso de cada componente etc.

No obstante si el método tiene suficiente consistencia interna y está bien desarrollado, se podrán obtener similares resultados aplicando otros métodos en condiciones análogas.

Ciertos métodos pretenden dar una "medida objetiva" de la calidad del paisaje intentando asignarles -- "una consistente paridad con los factores sociales y económicos" (4).

El diseño de un modelo constituye una herramienta adecuada para llegar a la cuantificación, o mejor a una valoración relativa a ordenación de la calidad paisajística.

El desarrollo de una gran diversidad de modelos obedece a la imposibilidad de obtener un modelo universal, siendo necesario acudir a metodologias específicas de cada caso y cada país, adaptadas a las particularidades de la región a estudiar, que apenas tienen de común más que un paralelismo en la - terminologia

El estudio del paisaje constituye, en esencia, la búsqueda de elementos, sectores o unidades que lo definan y la valoración de los mismos.

Huyendo de la concepción del paisaje como un elemento simple, se huirá asimismo de la estimación subjetiva, ya que considerándolo como un "compuesto" se consigue un progreso hacia la objetividad de la valoración siempre que se reunan los siguientes requisitos:

a) Los elementos reflejan, en su conjunto, el carácter del paisaje que componen.
b) Su definición sea más sencilla que la del conjunto.
c) Su medición y valoración sea, también, más abordable con independencia de otras variables.

El establecimiento de las características de un paisaje no difiere en esencia de los procedimientos al uso de la planificación física, y comprende aproximadamente las siguientes etapas:

a) Análisis visual y enjuiciamiento del área de estudio en su ámbito (en otro contexto respondería de otra forma).
b) Estructuración topográfica, fisiográfica o geomorfológica (el elemento estructurante por excelencia es el relieve) y determinación de unidades de espacio (espacios unitarios, que determinarán las unidades de paisaje).
c) Inventario de la ocupación del suelo, incluyendo vegetación, pueblos, elementos artificiales, etc. para investigar su rareza paisajística, su conspicuidad, su diversidad, o el papel de los factores naturales y artificiales del medio.
d) Selección de estos elementos bien por su interés prioritario o por la importancia como indicadores paisajisticos.
e) Medición.
f) Valoración.
g) Toma de decisiones.

Se destacan como procedimientos más significativos para referir el inventario dos, frecuentemente empleados: 1) Las unidades homogéneas. 2) La malla

1. Las unidades homogéneas

En el primer caso se divide el área de estudios en diversas unidades según un elemento base, que será el más representativo de la zona: se realiza un inventario de forma que la superficie quede dividida en áreas homogéneas respecto a dicho elemento.

Estas unidades base generalmente están asociadas a factores naturales como cuencas, valles, estructuras topográficas etc., que presentan características fisiográficas homogéneas. A estas unidades se le incorporan posteriormente los demás elementos que configuran el paisaje, con lo que se acumula gran -- cantidad de información, considerandose homogéneas tanto en su valor paisajistico, como en su respuesta visual ante posibles actuaciones. Todo ello permite una clasificación previa del territorio.

Entre las unidades que más se utilizan, destacan:

- Las unidades morfológicas o fisiográficas, como mezcla de pendiente, topografia, orientación y altitud, que proporcionan mapas altamente representativos del paisaje natural.
- Las unidades de vegetación o cubierta del suelo, que distingue entre los distintos tipos de vegetación, composición, secuencia histórica etc.
- Otras unidades menores como las de altitud, exposición, elementos singulares etc. (5)

2. La malla

Cuando el territorio esté muy afectado por actuaciones diversas, o con ciertos valores singulares, puede ser conveniente hacer el inventario sobre superficies más pequeñas que las unidades de paisaje. Se suele utilizar una malla que divide el territorio en porciones iguales de terreno cuya extensión puede adecuarse a la escala de los diferentes estudios.

La malla puede ser: Cuadrada, rectangular etc., aunque la más adecuada, en estos estudios, parece ser la exagonal pues dada la prioridad de la componente visual se puede hacer corresponder a los exágonos equidistantes del centro de uno de ellos, con el campo de visión de un observador a diferentes distancias. (2)

El concepto de paisaje puede abordarse con distintos criterios, que influiran en su valoración y que pueden sintetizarse (6) en cuatro posturas.

A) Aquella que no concede ningun valor al paisaje. Se trata de una actitud que no teme alterar los procesos naturales y que puede producir la desaparición de muchos valores al ignorarlos y permitir su manejo indiscriminado.

B) Esta postura concede al paisaje un valor superior al de cualquier acción que lo modifique. Hasta ahora ha servido para alertar a la opinión pública en el tema, y para salvar algunos lugares que estaban ya condenados. No obstante este conservacionismo a toda costa puede llevar a una exagerada inacción y a convertir en fósiles muchos lugares, en resumén a una detención ilógica del progreso.

C) Una postura más moderada es la que concede un determinado valor al paisaje, tiene en cuenta su existencia y considera los valores perceptuales. Se puede tratar de dos formas distintas: una operativa y otra que no lo es.

a) La forma operativa considera que los valores paisajisticos pueden suponer restricciones a ciertas actuaciones. Se trata de los estudios de impacto y localizaciones alternativas, determinandose los "umbrales de percepción" (7).
b) La forma no operativa utiliza los valores paisajisticos como vehículo teórico para conseguir ciertas prerogativas, sin el convencimiento de que las restricciones que impone el paisaje superen en el resultado a las ventajas de su omisión y tratamiento tradicional del tema. No suele producirse una trascendencia práctica.

D) Esta actitud ve al paisaje como un recurso más, con un valor propio ni lo ensalza ni lo devalua.

Se considera más interesante el significado del paisaje que su valor, y se busca la utilización óptima del recurso, pasando de ser una limitación a las actuaciones, a ser un elemento más a tener en cuenta en la toma de decisiones.

Son los estudios que contemplan la "capacidad" y la "fragilidad". Es evidente que un lugar tendrá ciertas cualidades perceptuales que le presten mayor aptitud, calidad o capacidad para el desarrollo de cierta actividad, y presenta al mismo tiempo cierta fragilidad o incompatibilidad frente a los usos a considerar.

Se destacan dos tipos de trabajos:

- Uno, el más generalizado, trabaja con valores específicos, sin conceder al paisaje un valor "per se".
- Otros trabajos conjugan el valor intrínseco de calidad paisajística, con los extrínsecos de capacidad y fragilidad.

Una vez explicado lo que se ha entendido por medio perceptual, como compendio del paisaje visual, cultural, sentimental y ecológico dependiente siempre del espacio y, en definitiva, del hombre, que dá una consideración distinta a su valor, veremos finalmente el escollo más difícil de su tratamiento: Cómo se valora el paisaje.

Es evidente que al atribuir al paisaje un valor a priori, sin estudio alguno, supone una gran dosis de subjetividad, de la que hay que huir si se busca consistencia y operatividad.

Una actitud consecuente es la que exige un tratamiento científico para la valoración del paisaje, mediante el desarrollo de una métrica adecuada.

Los distintos métodos que al efecto se emplean se pueden incluir en alguno de los siguientes macrogrupos:

- Métodos objetivos
- Métodos subjetivos
  - .Subjetividad contrdada
  - .Subjetividad no controlada

A su vez Penning-Rowselle (8), examinando los diferentes caminos seguidos más comunmente en la evaluación del paisaje sugiere esta clasificación.

A) Valoración independiente de los usuarios del paisaje

a) Sin asignar valores
b) Asignando valores
   - Con muchos datos
   - Con pocos datos

B) Valoración dependiente de los usuarios

a) Indirecta, en que el valor es función de la popularidad
b) Directa

Otros autores sugieren dos tipos de estudios que se complementan. Así Laurie (9) propone un estudio esencialmente descriptivo y otro basado en las preferencias del consumidor que llevados en paralelo tratan de evitar los problemas de toda evaluación. En otros casos (10) se combina la calidad intrinseca con la incidencia visual y el potencial de visualización para obtener como producto final una escala, una gradación en la fragilidad visual.

La dificultad de objetivizar la calidad del paisaje ha contribuido a que se preste atención a los acercamientos basados en la investigación de preferencias y actitudes, por ello se han desarrollado varias métricas, que se citan a continuación, una de las cuales se basa en esta consideración. Existen varias formas de abordar el tema.

1) Por el análisis de preferencias, valorando las actitudes o preferencias del individuo ante el paisaje (1). Se busca la sistematización de la expresión subjetiva o personal de la percepción, bien por medio de palabras -un modelo semántico- o de imágenes -un modelo cuasi-icónico- que ayudarian tanto a determinar cuales son las componentes percibidas, como a conocer las preferencias, así como las actitudes y respuestas prácticas.

2) Por la búsqueda objetiva, de las componentes constantes de la calidad, sin juicios de valor, tratando de descomponer el paisaje según conceptos no subjetivos. Estos factores son pocas veces evidentes, poco propicios a la cuantificación y dificilmente medibles en los terminos habituales.

3) Por la utilización de escalas ordinales. Resulta mucho más real determinar si un paisaje tiene más calidad, o es más frágil que otro, que estimar cuánto más. La utilización de escalas de orden, o jerárquicas, para clasificar áreas ha simplificado mucho el problema de la valoración.

4) Por el desarrollo de nuevas métricas, que permitan cuantificar las componentes del paisaje. En ocasiones se combinan varios sistemas como es el caso de la objetivación de valoraciones subjetivas de un grupo cualificado de personas: los expertos. En otras ocasiones se adaptará a las exigencias del trabajo: según se tenga que efectuar a nivel de los usos del territorio, o a nivel del proyecto que lo modifique. Otras veces es el caracter del lugar, o la escala de trabajo, el que condiciona las métricas empleadas y, en definitiva, el apoyo que se utilice: ciencias matemáticas, biogeográficas, psicológicas o sociológicas.

Generalmente el diseño de un modelo "in situ" es el procedimiento más común para el tratamiento científico del paisaje, tanto con vistas a una planificación futura como para conocer los impactos que se hayan producido ya.

De los numerosos métodos que se han desarrollado vamos a sintetizar algunos de los más representativos.

Ciertos estudios se centran en el carácter del paisaje y otros en su calidad. Unos son eminentemente objetivos y la mayoria tienen grandes dosis de subjetividad.

1) Consideración del tipo de paisaje: Estudios descriptivos: Litton (1968) desarrolla un estudio de percepción, en el que clasifica y describe los paisajes en terminos que indican la naturaleza de lo que se siente ante el mismo, desde lugares o carreteras determinadas.

----

2) Consideración de la calidad del paisaje. Algunos métodos intentan valorar la calidad escenica interviniendo el mejor uso del suelo. En esta línea, se han desarrollado los métodos de Fines (12) (1968), Linton (1968) y Weddle (1969) (13) como más conocidos.

El Estudio y Proyecto de Investigación E.S. realizado por K.D. Fines en 1968 está basado en el método subjetivo de análisis del paisaje.

Contempla ciertas condiciones además de las impresiones visuales: el sentimiento, el miedo, la veneración, la curiosidad, la sorpresa etc.

El método fue diseñado en East Sussex, zona próxima a Londres, a fin de orientar las políticas de expansión urbana y de localizar las zonas o pasillos para las grandes infraestructuras (electricidad, carreteras etc.) en una zona en que el paisaje es uno de los principales factores limitantes.

La evaluación se hace desde una serie de puntos de observación (al menos dos por cada cuadrícula de 1 kilómetro de lado) sobre el total de la zona. Esta se dividió en tres grandes unidades fisiográficas, cada una con características paisajisticas propias. El valor paisajístico de cada cuadrícula se expresa situándolo en una escala de intervalo geométrica que varía de 0 a 32 dividida en 6 categorias descriptivas o clases de valor:

0 .... 1,0: feo
1,0 .... 2,0: indiferente
2,0 .... 4,0: agradable
4,0 .... 8,0: distinguido
8,0 .... 16,0: soberbio
16,0 .... 32,0: espectacular

Esta escala se derivó de la apreciación, en términos de belleza, que un grupo de personas hizo sobre una serie de fotografias de paisajes realizadas en condiciones medias, sin efectos atmosféricos significativos.

Fines considera universal esta escala. El valor más alto es el obtenido por un paisaje espectacular no

realzado por fenómenos atmosféricos transitorios. Los valores expresan la calidad media de la cuadrícula.

El método utilizado en el Coventry-Solihull-Warwichshire Study, (14) se desarrolla según la siguiente secuencia:

a) se identifican los componentes:
b) se miden en cada una de las cuadrículas de una malla superpuesta (esta medida se expresa de diferente forma para cada componente: longitud en kilómetros, porcentaje de cobertura, superficie de agua, etc);
c) se valora cada cuadrícula puntuando su calidad visual en el campo por observación directa y detallada de la misma;
d) se hace un análisis de regresión a partir de los datos obtenidos en a), b) y c), para determinar los pesos que corresponden a cada una de las variables medidas;
e) la medida de cada componente se multiplica por el peso hallado para obtener la puntuación de cada componente;
f) se suman esas puntuaciones y así se obtiene una puntuación media para cuadrícula, y, por último,
g) se mapifican estos valores y se agrupan en superficies de igual calidad.

La práctica fué la siguiente:

- Se estudiaron 24 elementos del medio y se refirieron a una malla de 1 kilómetro cuadrado.
- Se estimó su importancia con respecto a la Calidad Visual, obteniendose un peso de cada elemento tanto positivo como negativo.
- La calidad visual de cada cuadrícula fué la suma ponderada de los elementos que en ella se encontraban.
- El valor anterior se clasificó en 12 clases.
- Con objeto de comprobar los valores obtenidos se hizo lo mismo de forma más sencilla: Se colocaron por orden a partir de un tipo de paisaje, los contenidos en las distintas cuadrículas. Esta observación se hizo en el campo y en base a observaciones directas.
- Esta escala de orden se convirtió rapidamente en una escala de valor entre 0 y 25 y posteriormente en 12 clases.
- A continuación se hizo una regresión líneal para ver las variaciones entre el análisis subjetivo y los pesos dados a cada elemento, comprobandose una correlación en el resultado entre 84 y 89.

Las figuras 8.7.1 y 8.7.2 representan el tipo de componentes utilizados, la forma de medirlos y los resultados obtenidos.

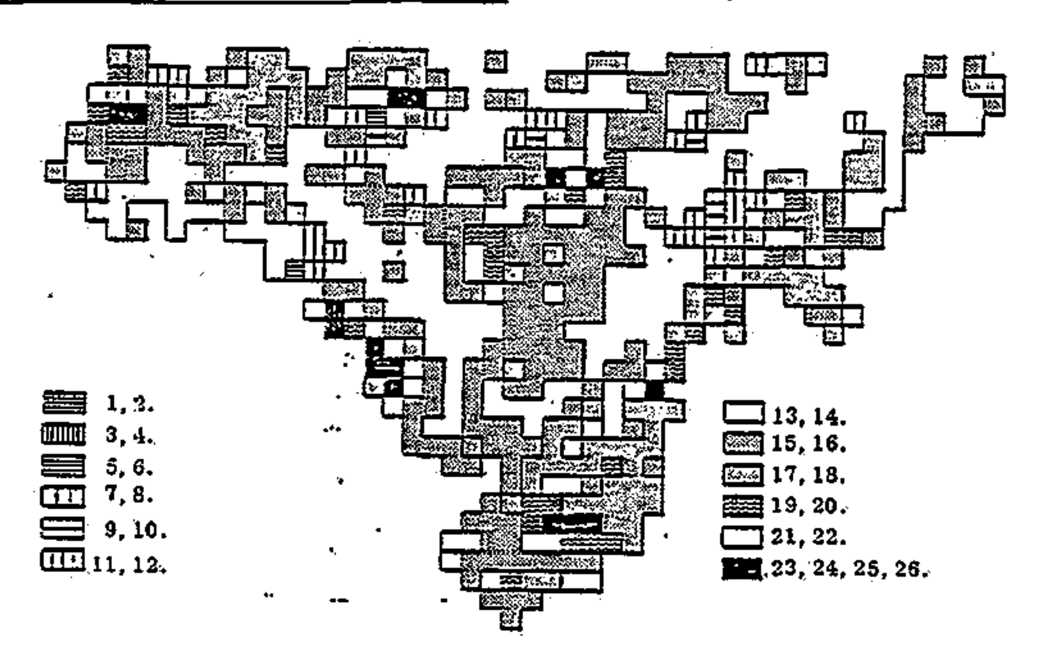
El método diseñado por Gómez Orea para valorar el paisaje (15): introduce componentes de la calidad apreciables por sentidos distintos al de la vista: oido y olfato.

El procedimiento parte del análisis del paisaje a través de sus elementos constituyentes, que se agrupan en diferentes niveles o categorias, según el grado de amplitud del concepto que representan, o sea, de la importancia relativa de su significación.

De esta forma fué posible confeccionar un árbol genérico (vease la fig. 8.7.3), cuyos vértices son los componentes del paisaje a distintos niveles.

FIGURA 8.7.1

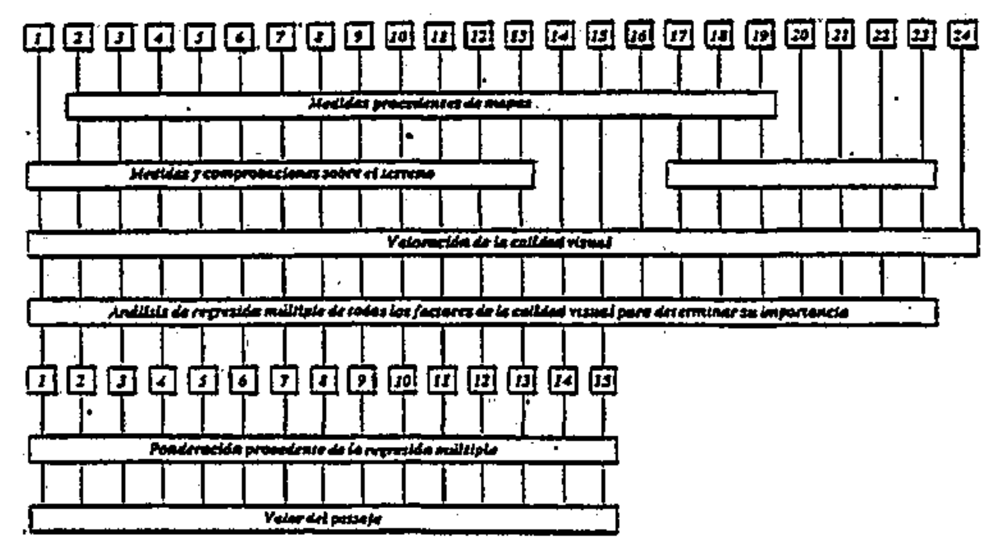
CUANTIFICACION DE LA CALIDAD DEL PAISAJE (Estudio Coventry-Solihull-Warwickshire)



CALIDAD EL PAISAJE. Mapa que muestra la calidad del paisaje referido a cuadrículas de Km^2 sobre una escala de valores subjetivos dados en el campo. (x)

FIGURA 8.7.2

CALIDAD DEL PAISAJE. FACTORES USADOS EN EL ANALISIS DE SU CALIDAD



FACTORES

1. Setos arbolados
2. Tierra de labranza
3. Bosques
4. Zonas desarrolladas
5. Zonas residenciales
6. Industria
7. Minera
8. Parques
9. Brezales
10. Superficie de agua
11. Otras zonas improductivas
12. Línea de energía
13. Ferrocarriles
14. Topografía modificada
15. Construcciones catalogadas
16. Granjas
17. Setos vivos
18. Cursos de agua
19. Carreteras
20. Elementos artificiales integrados
21. Elementos artificiales indiferentes
22. Elementos artificiales discordantes
23. Zona de vistas
24. Densidad

(x) NOTA: La escala indica valores subjetivos dados en el campo.

A medida que se desciende en la categoria de los niveles, los componentes representan conceptos más simples, y se puede llegar, con un grado suficiente de desmenuzamiento, a identificar componentes muy desagregados de fácil medición.

Los componentes del último nivel son datos que se han de tomar de la documentación existente, de fotogramas aéreos o mediante prospección directa del territorio. Estos datos se identifican con un código, y se les atribuye un valor, que constituye su nivel intrínseco de calidad, y que se denomina valor inicial.

Además de su valor inicial, se asignan a cada uno de los componentes un coeficiente de ponderación -- que cuantifica su importancia relativa respecto a los otros componentes de su nivel que confluyen en un mismo vertice del nivel superior.

Al subir en la escala de niveles, cada vèrtice toma un valor, función de los componentes de rango inferior que en él confluyen. El valor -expresión también, lógicamente, de su calidad- viene dado por el producto escalar de los vectores que forman los valores de los vértices del nivel inferior y por los coeficientes de ponderación de los componentes:

$$V = \sum P_i \cdot \alpha_i$$

siendo Pi el peso de una componente respecto a las demás de su mismo nivel

α_i - el valor inicial de esa componente.

La metoddogía se desarrolla según los siguientes puntos:

i) determinación de las componentes del paisaje en varios niveles de degradación;
ii) codificación de las componentes en todos los niveles;
iii) valoración de las componentes en el último nivel;
iv) asignación de coeficientes de ponderación;
v) elección de las unidades operativas de trabajo (retículas o unidades homogéneas de paisaje);
vi) georeferenciación;
vii) elección de programa de ordenador a utilizar en la manipulación de los datos;
viii) toma de datos;
ix) obtención de los resultados gráficos, y
x) contraste de los mapas obtenidos.

Según el procedimiento descrito y manejando los datos por medio de un ordenador se han llegado a obtener mapas de calidad paisajística o de valor, de cualquiera de los vértices, de los que se dan algunos ejemplos en las figuras 8.7.4 y 8.7.5

Modelos de Tandy (16) y del West Midlands Regional Study. (17) En dos columnas -que se cruzan en determinados puntos comunes- comparamos los modelos de Tandy y el utilizado en el estudio regional mencionado.

FIGURA 8.7.3

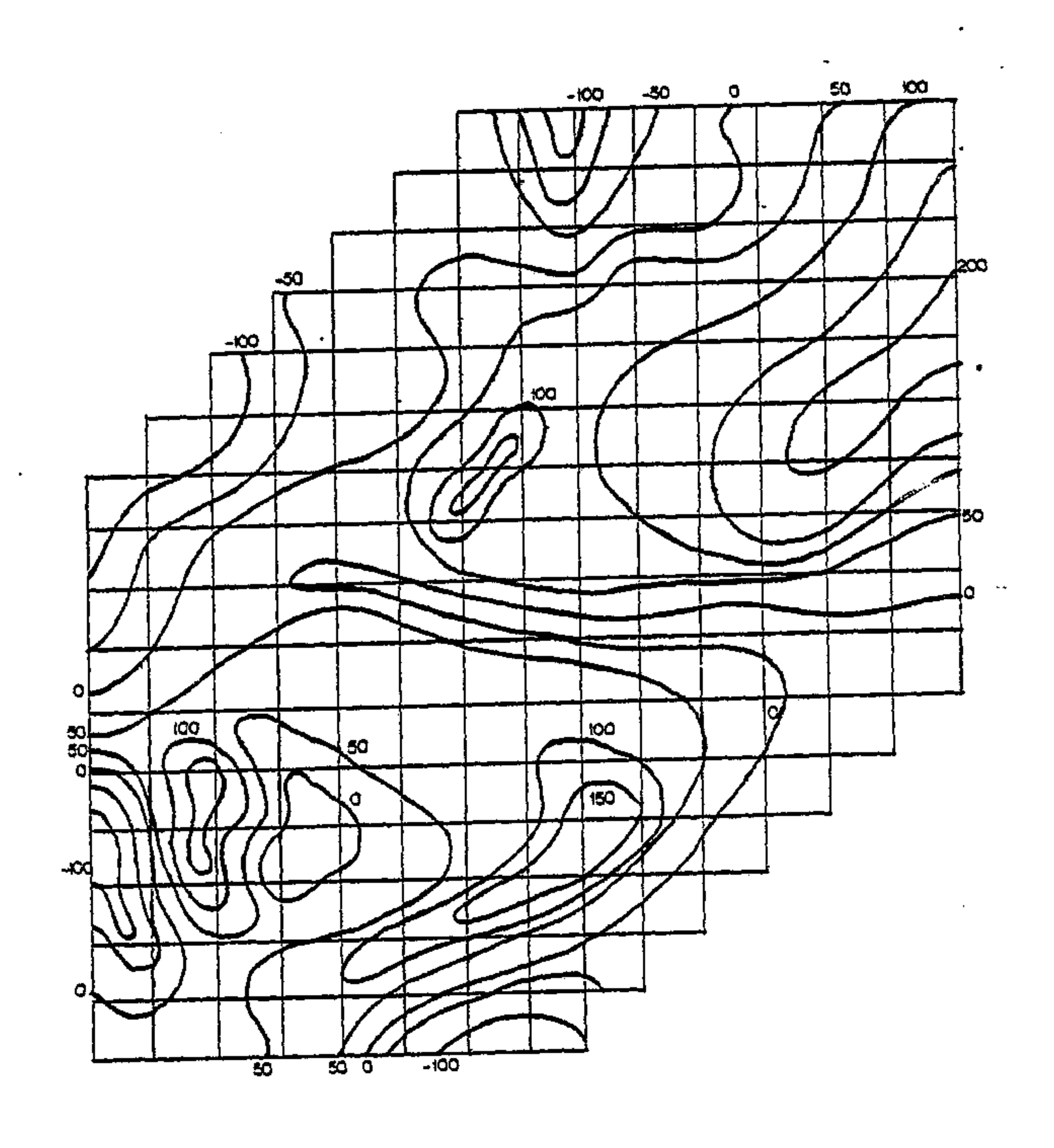
DIAGRAMA EXPLICATIVO DEL METODO GOMEZ OREA PARA VALORAR EL PAISAJE

FIGURA 8.7.4

VALOR DEL PAISAJE

FIGURA 8.7.5

ISOLINEAS DE VALOR PAISAJISTICO (VALORES ARBITRARIOS)



Modelo de Tandy	Modelo del Estudio regional
1) División del área en un conjunto de unidades operacionales de paisaje.	
2) Identificación de componentes y registro de incidencia de las mismas en cada unidad.	
3) Puntuación de cada componente según dos rangos: uno para expresar su contribución a la calidad; y otro para expresar la cantidad.	Puntuación de cada componente según un rango que representa la contribución a la calidad visual de acuerdo con la cantidad de cada componente.
Por ejemplo	Por ejemplo
Arboles en masa Rango cuantitativo; 0 - No existe en la unidad. 1 - Alguno en la unidad 2 - Todo en la unidad Rango cualitativo: -2- Intolerable. -1- Indeseable. -0- Aceptable. +1- Deseable. +2- Muy deseable.	2-20% árboles - 8 puntos. 20-50% árboles - 10 puntos.
4) En el campo el observador aprecia la cantidad y calidad de cada componente	En gabinete el observador registra la puntuación apropiada midiendo la cantidad de la componente en mapas y fotogramas.
5) Se combinan aritméticamente en gabinete las puntuaciones separadas de calidad y cantidad.	
6) Se suman las puntuaciones dadas para cada componente, para obtener la calidad de la unidad.	
7) Se mapifica la puntuación para cada unidad. Una variación a este procedimiento consiste en añadir o sustraer puntos según el impacto de ciertos factores positivos o negativos para el paisaje.	

Un método que considera al paisaje como un "compositum" ha sido ideado por A. Ramos y otros (2). Admite algunas estimaciones subjetivas de principio, pero considera, en orden a la fiabilidad del producto final, que la subjetividad de tales estimaciones no es obstáculo principal. En efecto, mucho más relevantes son las posibles faltas de consistencia interna en el proceso de valoración, es decir las diferencias que pudieran darse inter distintos valoradores e intra cada persona, al describir de diferente manera elementos realmente iguales en función de cambios en su percepción, o de cambios eventuales en el propio paisaje (invierno frente a verano, día de sol frente a lluvioso, etc.). Se busca, en suma, la objetivación en forma de descripciones consistentes, en asegurar la atribución de un mismo valor independiente de quién y cuándo efectúa la valoración. El método se desarrolla así:

Unidades de paisaje: El método admitió los dos procedimientos citados anteriormente para referir el inventario, combinándolos. Las unidades fisiográficas se estimaron homogéneas tanto en su valor paisajístico como en su respuesta visual ante posibles actuaciones. La posibilidad de que algunas de ellas estuvieran afectadas, en parte o en toda su extensión, por desarrollos urbanos o industriales, o tuvieran valores singulares, parecía aconsejable llevar a cabo la inventariación sobre superficies más pequeñas que las unidades de paisaje. Otros caracteres como la vegetación podrían sumarse al anterior y subdividirlas. Como retícula se escogió el exágono que presenta notables ventajas con respecto a -

otra malla para esta prospección cuyo componente visual es prioritario.

El desarrollo del método se hizo así:

1) Descripción del paisaje: se ha distinguido entre "rasgos actuales" descriptivos de la calidad o valor actual del paisaje y los "rasgos potenciales" expresivos de la respuesta del paisaje ante posibles actuaciones humanas.

En los Rasgos actuales, se contemplan tres aspectos:

11) Medio físico: con cuatro caracteres

- Diversidad (presencia de distintos elementos naturales)
- Singularidad, a escala local y regional.
- Ambiente: naturalidad, contraste, quietud.
- Escala: contraste dentro de la unidad, dimensiones, movimiento.

12) Actuaciones. Cantidad y calidad de las actuaciones desarrolladas en la zona: Urbanas, industriales y agrarias.

13) Relaciones. Considerando la posible influencia de la unidad considerada en las que la rodean y tambien la de éstas en aquella, para llegar a definir dos conceptos:

- Paisaje exterior: calidad de las vistas que se contemplan desde la unidad.
- Incidencia en otras unidades, bien directa al ser vista desde ellas, bien indirecta al causar impactos -tambien visuales- por emisión de humos o por vertidos.

Rasgos potenciales. Al contemplar la posibilidad de modificaciones, es necesario añadir aquellos rasgos que puedan ser una medida de la reacción del paisaje ante tales modificaciones.

Se escogen dos:

- Incidencia en otras unidades.
- Fragilidad o capacidad para absorber paisajísticamente posibles desarrollos.

2) Inventario. Medición. Se tiene en cuenta:

a) Medio físico
b) Actuaciones.
c) Relaciones. Paisaje exterior. Incidencia visual.
e) Fragilidad.

3) Valoración. Definido ya un punto, según lo expuesto anteriormente, por sus coordenadas, su calidad paisajística actual se supone función lineal de ellas, según una fórmula de la que se obtiene un valor "Q", o valor actual.

De otro lado, la capacidad de absorber desarrollos "D" o valor potencial, se ha definido como función de la fragilidad y de la incidencia visual negativa.

Se obtienen así mapas de calidad y capacidad, o lo que es lo mismo: de valor actual y valor potencial, que clasifican el territorio y que por superposición dan lugar a una serie de recomendaciones que en un estudio aplicado estarian en lä línea siguiente:

- En aquellas áreas del territorio en que el valor de Q sea alto y la capacidad de desarrollo pequeña, deberá ser total la protección y no permitir en ellas ninguna alteración.

- Es en las zonas de valor actual bajo con capacidad de desarrollo alto, donde deben situarse las actividades que impliquen alteración del médio, porque allí harán poco daño.

- Las áreas de capacidad de desarrollo alto, con calidad paisajística de valor elevado, pueden ser destinadas a desarrollo restrictivo, con limitaciones que aseguren el futuro del paisaje en esos puntos.

Se han expuesto algunas de las aportaciones metodológicas que nos parecen más significativas para el tratamiento del paisaje. Existen, no obtante, otras muchas aproximaciones al estudio e interpretación del medio perceptual, con muy diferentes enfoques, ya que cada circunstancia particular -de un país, de -- una región, o de un problema determinado- exige un particular estudio, y un nivel distinto de resultados. Podría incluso afirmarse que existen tantos métodos como casos se planteen.

(1) Lepore, M. 1972. Rubens. Prensa Española

(2) Ramos, A. et al, 1976 Visual landscape evaluation, a grid technique. Landscape Planning 3,1-2; 67-88

(*3) Sánchez de Muniain, J.M. 1945. Estética del paisaje natural. C.S.I.C. Madrid.

(4) Leopold, L.B. 1972. Landscape Aestetics. Human identifr in the urban environment.

(5) Villarino, T. y Ceñal A. 1977. "Estudio del paisaje en el área de Gredos". I Jornadas Técnicas Internacionales de Paisajísmo, Diputación Provincial de Madrid. Manzanares el Real.

(6) Ramos, A. 1979. Valoración del Paisaje. Conferencia pronunciada en la E.T.S. de Ingenieros de Montes de Madrid.

(7) Cifuentes, P. 1977. El alcance de los Impactos visuales. I Jornadas Técnicas de Paisajísmo. Diputación Provincial de Madrid. Manzanares el Real.

(8) Penning - Rowselle, E.C. 1973. Public Attitudes to Landscape Quality: A Survey in the wye Valley. A.O.N.B. Planning Research Group Report 10, Enfield.

(9) Laurie, J.C. 1970 Objetives of landscape evaluation. Landscape Research Group. Conf. II.

(10) Gómez, D. y Villarino, T. 1980 - El paisaje, recurso natural en las áreas de montaña: El valle alto del Arlanzón. Coloquio Hispano Francés sobre áreas de Montaña. Madrid

(11) Sancho Royo, F. 1974 - Actitudes ante el paisaje. Universidad de Sevilla.

(12) Fines, K.D. 1968 Landscape evaluation: a research projet in East Sussex. Regional Studies nº 1

(13) Weddle, A.E. 1969 Techniques in landscape evaluation. J. of the Moon Planning Inst. 55:387-389

(14) Coventry Solihull-Warwickshire. 1971, A Strategy for the subregion, Coventry City Council, Solihull Country

(15) Gómez Orea, D. 1976. La calidad del medio ambiente. Desarrollo de un procedimiento para la formulación y representación de los valores paisajísticos de los espacios naturales. Geographica. C.S.I.C. pp 53-107.

(16) Tandy, C.R.V., 1971 - A land use evaluation technique. Land Use Consultants.

(17) A developing strategy for the West Midlands. 1971 Report of the West Midlands Regional Study, Birmingham.

